

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de
INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA
OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN PARA LA
MOLIENDA DE AZUFRE DE 1.5 TONELADAS A 2 TONELADAS / DÍA.**

**AUTORES
CARRERA CUZCO EDUARDO JAVIER
TOBAR REYES CÉSAR MARCELO**

**DIRECTOR
MILTON SALOMÓN JAMI LEMA**

Quito, febrero del 2017

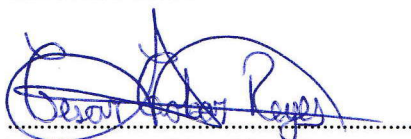
Cesión de derechos de autor

Nosotros **César Marcelo Tobar Reyes y Eduardo Javier Carrera Cuzco**, con documentos de identificación **0803768910** y **1720142361** respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación titulado: **“OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRODUCCION PARA LA MOLIENDA DE AZUFRE DE 1.5 TONELADAS A 2 TONELADAS / DIA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el Título de Ingenieros Mecánicos en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado por la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Carrera Cuzco Eduardo Javier
C.I. 1720142361



Tobar Reyes César Marcelo
C.I. 0803768910

Quito, febrero del 2017.

Declaratoria de coautoría del director

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación **“OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRODUCCION PARA LA MOLIENDA DE AZUFRE DE 1.5 TONELADAS A 2 TONELADAS / DIA”**, realizado por **César Marcelo Tobar Reyes y Eduardo Javier Carrera Cuzco**, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como Trabajo Final de Titulación.

Quito, febrero, 2017.



Ing. Jami Lema Milton Salomón

CI: 1707254171

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo, en primer lugar, a Dios por permitirme cumplir uno de mis propósitos. Sin su bondad y misericordia de Él nada es posible; en segundo lugar, a mi madre, que incansablemente se ha preocupado por mí y me ha apoyado en los momentos más difíciles; de igual manera a mi padre, a mi hermana que ha sido otra madre para mí, siempre con sus consejos y velando por mi bienestar; a mi cuñado que siempre me apoyo en todo; a mis sobrinos que son el motor para seguir adelante y la alegría que, día a día, me acompaña; a mis tíos que me formaron con carácter y criterio para decidir que me servirá y que no en la vida; a mi novia por estar conmigo en todo momento; a mis amigos, en general, que confiaron en mí.

Eduardo Carrera Cuzco.

Dedico el presente trabajo a Dios que sin su gloria nada es posible y por quien se facilitaron muchas cosas en el transcurso de la realización de este trabajo. En segundo lugar, dedico este esfuerzo a mi madre, quien siempre estuvo apoyando mi trabajo y ayudándome en lo que le era posible y dándome fuerzas en los momentos difíciles; de igual manera dedico este trabajo a mi padre, quien fue esencial en el transcurso de la carrera y a todos los miembros de mi familia que siempre estuvieron animándome a salir adelante y que me han acompañado en todo el transcurso de mi vida.

César Tobar Reyes.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarnos la oportunidad de ser unos profesionales de esta noble institución. A nuestro tutor Ing. Milton Jami que con sus conocimientos nos ayudó de la mejor manera, con sus observaciones profesionales nos guió para la culminación del proyecto. A los docentes que nos impartieron sus conocimientos, sin envidia alguna, siempre aportando para que los profesionales tengamos buenas bases. Al personal administrativo y docentes, en general, de la Universidad Politécnica Salesiana que por nuestro camino en la institución hicieron una estadía grata y llena de satisfacción. Además, hicimos buenos amigos y seremos excelentes profesionales.

Le damos un especial agradecimiento a la Empresa Ecuazufre quien nos colaboró abriendo las puertas de su empresa para viabilizar nuestro proyecto, a Nicolás Ñamo, trabajador y operador de nuestro proyecto por la dedicación que ha puesto en él, y por estar siempre dispuesto a ayudarnos en lo necesario para la culminación del mismo y a nuestras familias que siempre estuvieron apoyándonos en todo momento y dando fuerzas para salir adelante.

A todos ustedes, muchas gracias.

Eduardo y César

RESUMEN

El presente proyecto consiste en la optimización del sistema de producción de la Empresa Ecuazufre que se dedica, exclusivamente, a la molienda de azufre, así como a la ergonomía del operador, almacenamiento del producto y llenado del mismo. Para ello se realizó una toma de datos necesarios para establecer un punto de partida para el proceso de optimización de la máquina.

Teniendo como base una metodología que se seleccionó adecuadamente; se realizó la toma de tiempos y movimientos en los cuales se pudo analizar los cuellos de botella del proceso; así como también la correcta operación del molino por parte del trabajador.

Se realizó el estudio del molino de martillos y la posibilidad de fabricar elementos que acoplados al molino ya existente nos ayuden en la mejora de los tiempos; así como también, la parte fundamental que es la ergonomía del trabajador.

Se realizó la selección de los equipos que se fabricarán para optimizar el proceso, el mecanismo de control del producto, coche transportador, mesa de soporte de tolva, con cada uno de ellos se realizó los cálculos pertinentes que nos permitieron asegurar el correcto dimensionamiento y funcionamiento del proyecto en general.

Palabras claves: sistema, producción, molienda, azufre

ABSTRACT

The present project consists in the production system improvement to Ecuazufre factory dedicated sulfur milling, as well as the ergonomics operator, product storage and its own filling. According to this, to do this, will be made a data collection necessary to establish a starting point for the optimization process of the machine..

Selecting the adequate methodology, a data gathering tool was made taking in account the time and movements from which the bottlenecks of the process are going to be analyzed, as well as the correct operation of the mill by the worker.

For this, the study of the hammer mill and the possibility of making elements that coupled to the existing mill help us in the time improvement, as well as the fundamental part as is the ergonomics worker.

We made the selection of the equipment that will be manufactured to optimize the process, the product control mechanism, cart conveyor hopper support table, each of them were made with relevant calculations that allowed us to ensure the correct sizing and operation of the project in general.

Keywords: system, production, milling, sulfur.

CONTENIDO

Introducción	17
CAPÍTULO 1.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
1.1. Azufre	19
1.1.1. Propiedades Físicas	19
1.2. Sistemas de producción	20
1.2.1. Sistemas modelo de producción	20
1.2.2. Sistema de producción secundario	23
1.2.3. Sistema terciario	24
1.2.4. Elementos del sistema de producción	24
1.3. Ergonomía.....	25
1.4. Mecanismos y Máquinas	26
1.4.1. Mecanismo	26
1.4.2. Mecanismo de Barras	27
1.4.3. Movimientos existentes:	30
1.4.4. Grados de Libertad	30
1.4.5. Velocidad	31
1.4.6. Fuerzas	32
1.5. Elementos y herramientas de Diseño.....	34
1.5.1. Softwares	34
1.6. Normas de diseño	34

1.7.	Aleaciones	34
1.8.	Factor de seguridad	35
1.9.	Esfuerzo y deformación	36
1.10.	Tolva	37
1.11.	Dosificador.....	38
1.12.	Soldadura	38
1.12.1.	Procedimientos de Soldadura	38
1.12.2.	Mig	39
1.13.	Molino de Martillos.....	40
	40
	CAPÍTULO 2.....	41
2.	ALTERNATIVAS DE TRABAJO	41
2.1.	Selección de alternativas	41
2.1.1.	Alternativa 1	41
2.1.2.	Alternativa 2	43
2.1.3.	Alternativa 3	46
2.2.	Ponderación de las alternativas	47
	CAPITULO 3.....	49
3.	DISEÑO DE ELEMENTOS DE SISTEMA DE PRODUCCIÓN.	49
3.1.	Diseño de elementos	49
3.1.1.	Cálculo de volumen de Tolva con extensión	49
3.1.2.	Diseño de Coche de carga.....	53

3.1.3.	Cálculo de Placa de dosificador	57
3.1.4.	Diseño de Mecanismo de apertura y cierre de dosificador.....	61
3.1.5.	Cálculo de espesor de soldadura en tolva-mecanismo y mesa	61
3.1.6.	Diseño de tolva dosificadora	63
3.1.7.	Resortes	68
CAPÍTULO 4.....		69
PROCEDIMIENTO Y TIEMPOS DE TRABAJO		69
4.1.	Procedimiento de trabajo para toma de tiempos y movimientos.....	69
4.2.	Tiempos de cada procedimiento	70
CAPITULO 5.....		74
COSTOS DEL PROYECTO.....		74
5.1.	Estudios de costos	74
5.2.	Estudio de costos directos	75
5.2.1.	Costos de materiales que comprenden la tolva, mecanismo, coche, rampa, mesa de soporte	75
5.2.2.	Costo de materiales normalizados	76
5.2.3.	Costos de maquinaria para el proceso de fabricación	76
5.2.4.	Costo de montaje e instalación	77
5.2.5.	Costos directos totales	77
5.3.	Estudio de costos indirectos	78
5.3.1.	Costo de materiales secundarios que se utilizan para la construcción.....	78
5.3.2.	Costos Varios	78

5.2.4.	Costos indirectos totales	79
5.4.	Costos totales	79
CAPÍTULO 6.....		80
TOMA DE TIEMPOS FINALES (RESULTADOS)		80
6.	Procedimiento de trabajo para toma de tiempos y movimientos.....	80
7.	CAPITULO 7	93
RECUBRIMIENTOS		93
7.1.	Epóxico	93
7.2.	Poliuretano	94
7.3.	Estándares de limpieza de la superficie	94
7.4.	Recubrimientos en tolva dosificadora	95
CONCLUSIONES		96
RECOMENDACIONES		98
REFERENCIAS.....		99
ANEXOS		17

Índice de Figuras

Figura 1 : Sistema de producción continua.	20
Figura 2: Sistema de producción modular.....	21
Figura 3: Sistema terciario.....	24
Figura 4: Elementos de un sistema de producción.	25
Figura 5: Tipos de palpadores	28
Figura 6: Ciclo de vida de un producto.	31
Figura 7 : Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria.	37
Figura 8: Esquema del procedimiento de soldadura mig.	39
Figura 9: Martillos del molino.....	40
Figura 10: Gráfico de ponderación de alternativas.....	48
Figura 11: Tolva dosificadora.	49
Figura 12: Saco estándar sobre plancha de coche.	53
Figura 13: Reacciones.	54
Figura 14: Reacciones en apoyos con ruedas.	55
Figura 15: Cálculo de fricción.....	57
Figura 16: Cargas en compuerta dosificadora.	59
Figura 17: Mecanismo dosificador.....	61
Figura 18: Placa inferior de tolva.	63
Figura 19: Áreas del trapezoide.....	64
Figura 20: Centroides en x de trapezoide.....	65
Figura 21: Centroides en x.	65
Figura 22: Duración en segundos de cada procedimiento.....	72

Figura 23. Duración de proceso en segundos.....	83
Figura 24: Gráfico de duración en segundo de movimientos.....	86
Figura 25: Gráfico de comparación de tiempos y movimientos.....	88
Figura 26: Dispersión y línea de tendencia de datos iniciales.....	89
Figura 27: Dispersión y línea de tendencia de datos finales.	89
Figura 28: Resortes sin comprimir.	18
Figura 29: Mecanismo totalmente cerrado.	18
Figura 30: Tolva, placa de dosificador y azufre.	18
Figura 31: Extensión de tolva.....	18
Figura 32: Brazo de apertura y cierre (dos posiciones).....	18
Figura 33: Mejora de sistema de producción implementada.....	18
Figura 34: Mesa, escalera y rampa implementadas.....	18
Figura 35: Coche que soporta una carga máxima de 5 sacos.	18
Figura 36: Azufre antes de ser procesado en molino.	18
Figura 37: Ensacado de azufre colocado en filas de 14 sacos.....	18
Figura 38: Mesa de madera y rampa con tablón.....	18

Índice de Tablas

Tabla. 1: Características físicas y químicas del azufre.....	19
Tabla. 2: Ponderación de análisis de alternativas.....	47
Tabla. 3: Distribución de tiempos del operador	71
Tabla. 4: Distribución de Tiempos de ciclo de trabajo.....	72
Tabla. 5: Costos de materiales para optimización de molino.....	75
Tabla. 6: Costos de materiales normalizados	76
Tabla. 7: Costos de equipos.....	76
Tabla. 8: Costo de montaje e instalación.....	77
Tabla. 9: Costos directos totales.....	77
Tabla. 10: Costos indirectos	78
Tabla. 11: Costos Varios	78
Tabla. 12: Costos indirectos totales.....	79
Tabla. 13: Costos totales.....	79
Tabla. 14. Tiempos de trabajo finales.	82
Tabla. 15: Duración de proceso en segundos.	83
Tabla. 16: Distribución del tiempo diario del operador.	85
Tabla. 17: Promedio de tiempos finales en 200kg de producción.....	86
Tabla. 18. Comparación de tiempos en 200kg de producción	87
Tabla. 19. Encuesta inicial del operador	90
Tabla. 20. Encuesta final del operador.	91
Tabla. 21. Comparación de resultados de encuestas inicial y final del operador.	91

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Grados de libertad de un mecanismo.....	30
Ecuación 2: Velocidad de desplazamiento	31
Ecuación 3: Velocidad	32
Ecuación 4: Velocidad angular.....	32
Ecuación 5: Fuerza	32
Ecuación 6: Peso.....	33
Ecuación 7: Factor de seguridad.....	35
Ecuación 8: Volumen de un cilindro	50
Ecuación 9: Volumen de un cono.....	50
Ecuación 10: Volumen de cilindro 2	50
Ecuación 11: Sumatoria de volumen de dos rectangulo	50
Ecuación 12: Densidad	51
Ecuación 13: Fuerza puntual.....	54
Ecuación 14: Inercia de una placa	56
Ecuación 15: Modulo de elasticidad.....	56
Ecuación 16: Deflexión máxima	56
Ecuación 17: Gravedad.....	57
Ecuación 18: Densidad del Azufre	57
Ecuación 19: Masa	58
Ecuación 20: Peso.....	58
Ecuación 21: Sumatoria de fuerzas eje “Y”	58
Ecuación 22: Sumatoria de fuerzas eje “X”	58

Ecuación 23: Inercia.....	59
Ecuación 24: Deflexión máxima	59
Ecuación 25: Inercia.....	60
Ecuación 26: Deflexión máxima	60
Ecuación 27: Grados de libertad.....	61
Ecuación_28: Esfuerzo de fluencia	61
Ecuación 29: Área de un trapecio.....	64
Ecuación 30: Centriode “X”	64
Ecuación 31: Masa en función de la densidad.....	66
Ecuación 32: Inercia.....	66
Ecuación 33: Deflexión máxima	67
Ecuación 34: Inercia para la tolva	67
Ecuación 35: Deflexión máxima	68

Introducción

El azufre es un material usado en la industria hidrocarbonífera debido a sus propiedades químicas, con el cual se fabrican diversos productos usados, tanto en medicina como en la industria. La Empresa Ecuazufre adaptó un molino de martillos fabricado de manera artesanal para realizar la molienda. El molino en un principio tenía una producción de 1500 kg por día que equivale a 30 sacos.

El sistema que se usa para realizar este proceso es un sistema de producción continuo, debido a que se realiza siempre el mismo producto, el proceso que realiza el operador al momento es el de cargar al hombro en un balde el azufre, sube por una tabla y deposita en la tolva; posteriormente, enciende el molino, espera que termine de moler y apaga el molino; recoge con una pala el azufre molido y ensaquilla los quintales de 50kg cada uno, los cose, los carga en el hombro y los acomoda para su despacho. Esto requiere de un gran esfuerzo físico para el obrero a cargo y la producción con este sistema se evidencia que no es la adecuada. Partiendo de esto se planteó la necesidad de reducir tiempos en el movimiento *ordenar en columnas* en un 5% para obtener mayor producción, reducir tiempos en el movimiento *arrastrar producto suelo* en un 5% mediante la instalación de un mecanismo de control, reducir tiempos en el movimiento *ingresar producto a la tolva* en un 5% mediante la instalación de una rampa, tabular y presentar los datos y representaciones gráficas comparativas del proceso de producción al inicio y culminación del mismo, puesta en marcha de un sistema de producción adecuado para mejorar la ergonomía del obrero aumentando la capacidad de molienda, reducir el tiempo del movimiento *ensacar*, en

un 5% con la implementación de un mecanismo de cierre rápido con ventosas, comprobar la mejora de ergonomía del operador con la realización de una encuesta de salud a esta producción actual se la va a mejorar, haciendo el análisis de alternativas e implementando sistemas que ayuden al operador a mejorar tiempos de producción y ayudando a mejorar la ergonomía, minorando el esfuerzo físico, el análisis de tiempos en la producción nos permitirá encontrar los cuellos de botella, los cuales son lo que no nos permiten tener una producción rápida y correcta, con estos tiempos tomados, se procede a realizar planos para la fabricación de las implementaciones, tablas dinámicas, que nos permiten decidir qué parámetros pueden ser modificados para lograr un incremento de la producción y mejoramiento en la ergonomía del operador.

El presente proyecto beneficiara a la Empresa “ECUAZUFRE”, directamente al operador que es el que realiza el esfuerzo físico para poder cumplir con las tareas y secuencia del proceso de la molienda de azufre.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Azufre

El azufre es un elemento que se encuentra distribuido en gran parte de la tierra. Es un elemento que constituye parte fundamental para la creación de la vida por los componentes químicos que posee, con este elemento se preparan diversas cantidades de productos; entre ellos están medicinas, fertilizantes, combustibles, etc. Es muy usado en la industria para procesos de creación de combustibles con derivados de petróleo. (Garcés, 2009, pág. 1)

1.1.1. Propiedades Físicas

El azufre por ser un mineral usado, habitualmente, en procesos industriales ha permitido que se descubran sus propiedades mediante la investigación. En el presente trabajo utilizaremos algunas de sus propiedades como son:

Tabla. 1: Características físicas y químicas del azufre.

Datos.	Datos técnicos.
Densidad:	$2.07 \frac{g}{cm^3}$
Dureza:	1.5 a 2.5 R
Color:	Pardo amarillento.
Punto de fusión:	112.8 °C
Masa atómica:	32 u
Punto de ebullición:	444,6 °C

Nota: Datos técnicos del azufre.

Fuente: (Garcés, 2009, pág. 1)

1.2. Sistemas de producción

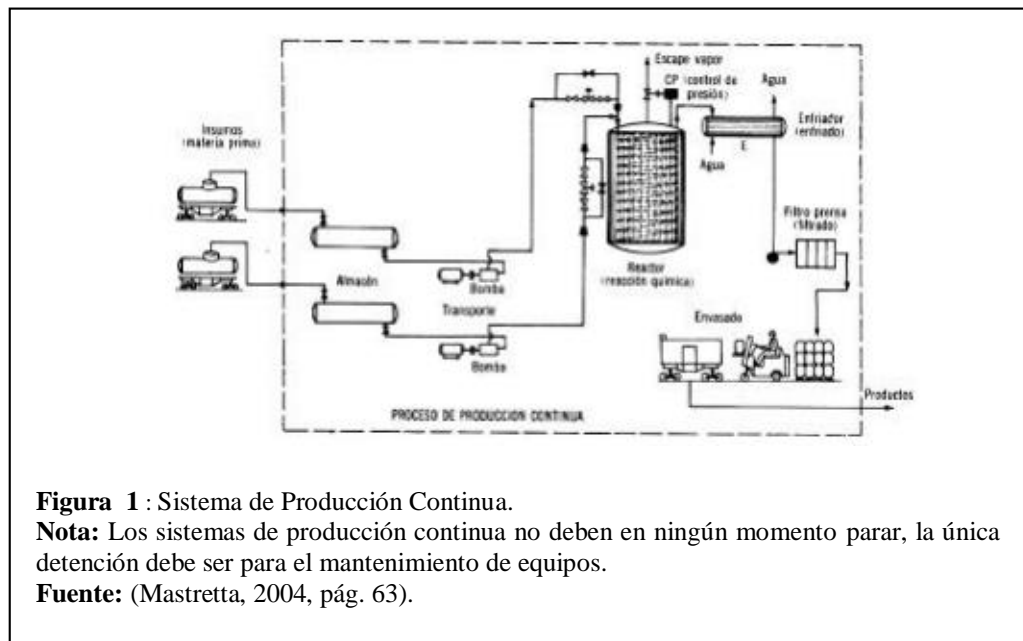
1.2.1. Sistemas modelo de producción

El Sistema de producción es un conjunto de acciones que permite el desarrollo de nuevos productos. Dentro de los sistemas de producción se encuentran:

- *Sistemas de producción continua*

Los sistemas continuos se basan en la producción, sin interrupciones. Estos se ajustan a itinerarios y flujos de operación (Mastretta, 2004, pág. 63). Un ejemplo de un sistema continuo es la fabricación de autos, no detiene su flujo de trabajo en ningún momento a no ser que los equipos tengan fallas internas y necesiten mantenimiento.

En los sistemas continuos, las operaciones se dan de tal manera que los materiales son procesados mientras se mueven y la materia prima se recibe, continuamente, de los proveedores (Mastretta, 2004, pág. 63).



- *Sistemas de producción intermitente*

Este sistema se basa en la producción mediante lotes de producción, cantidades fijas en un determinado tiempo, continuo de otro lote totalmente diferente al primero (Mastretta, 2004, pág. 64).

El sistema de producción intermitente produce grandes cantidades de lotes para para venderlos en la industria. La cantidad de productos que se fabrican en cada lote son pequeños con respecto a la producción general que se tiene en la empresa juntando todos los lotes.

Un ejemplo de una producción mediante lotes son las bebidas como las gaseosas que se producen en cantidades y volúmenes determinados y a continuación dan paso a otro sabor de gaseosa.

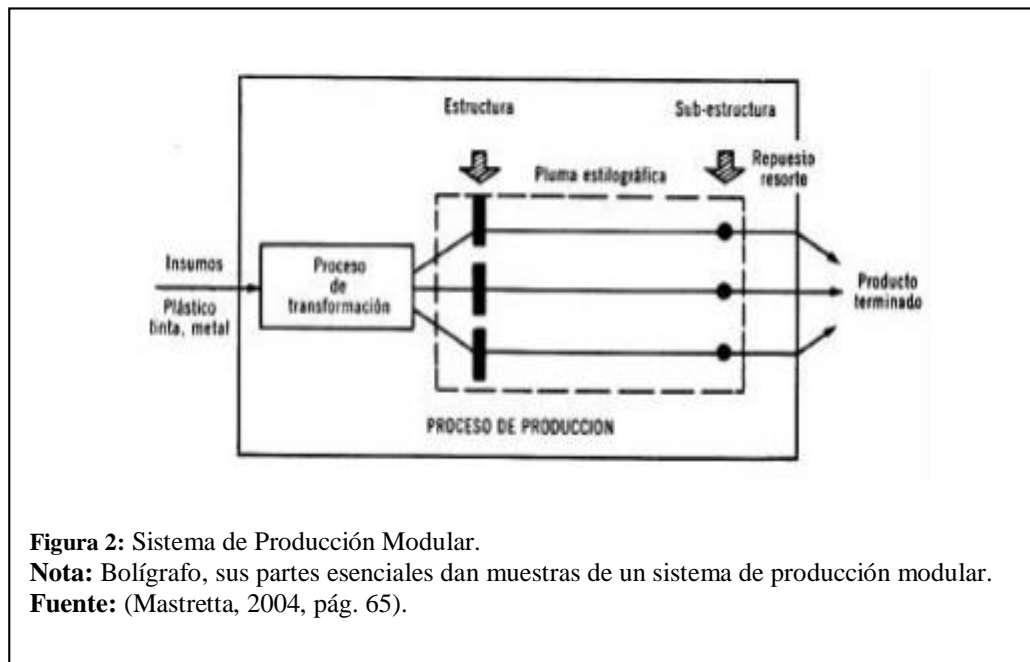


Figura 2: Sistema de Producción Modular.

Nota: Bolígrafo, sus partes esenciales dan muestras de un sistema de producción modular.

Fuente: (Mastretta, 2004, pág. 65).

- Sistema de producción modular

Es la creación de un solo módulo de producción eliminando las pequeñas estructuras productivas que se generan en la empresa.

La producción modular en si consiste en diseñar, desarrollar y producir aquellas partes que pueden ser consideradas en un número de formas máximas. (Mastretta, 2004, pág. 65).

- Sistemas de producción por proyectos

Se debe considerar, principalmente, que un proyecto nace de una idea única, inédita, para satisfacer necesidades de los consumidores.

El sistema de producción por proyectos se da mediante fases, consecutivas unas de otras, todas las fases de un proyecto deben estar supervisadas por la gerencia de proyectos quien supervisa todas las fases del proyecto que se lleva a cabo en un determinado tiempo (Mastretta, 2004, pág. 66).

En este punto se debe considerar la organización, planeación, integración, dirección y control del proyecto que se lleva a cabo. (Mastretta, 2004, pág. 66).

El sistema de producción mediante proyectos se debe realizar de manera ordenada todas las fases deben estar supervisadas y cumplir el objetivo que se ha impuesto cuando se analizaron las ideas, evitando, principalmente, el despilfarro de recursos por parte de la empresa y obtener una producción elevada.

1.2.2. Sistema de producción secundario

Se subdivide en tres sistemas:

- Sistemas de transformación

Los materiales que son usados en bruto y luego convertidos en productos de primera necesidad para el hombre como jabón, pasta dental, vidrio, papel y otros productos como la cerveza, gaseosas utilizan maquinarias tecnológicas que convierten la materia bruta en un producto para consumo humano.

Los sistemas de transformación funcionan como sistemas continuos e intermitentes dependiendo de la necesidad del mercado y la demanda. (Mastretta, 2004, pág. 70)

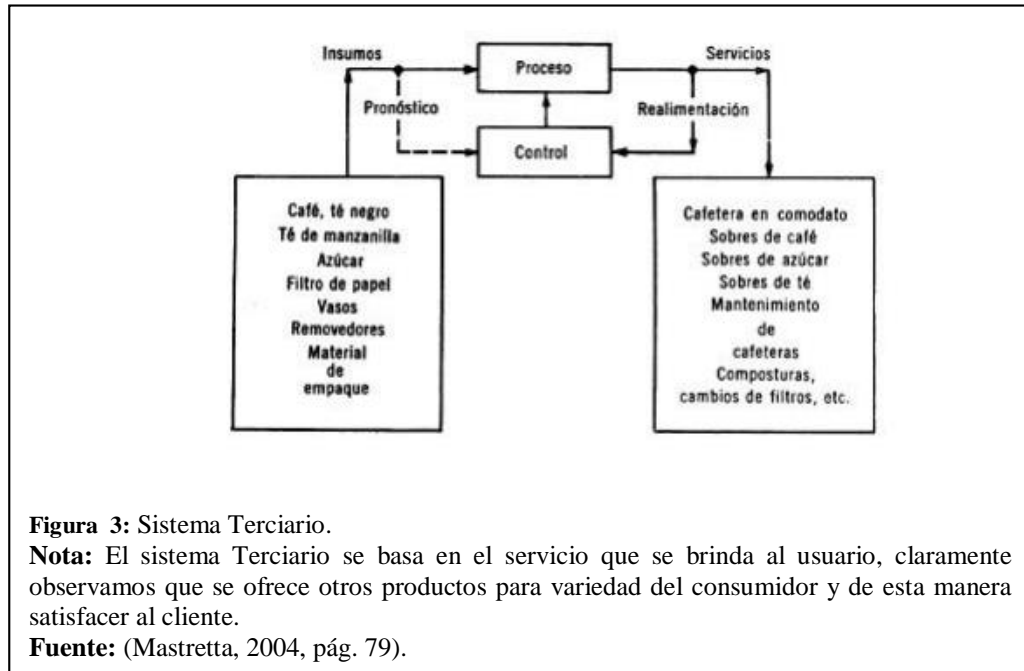
Las industrias grandes necesitan personal especializado, de tal manera que nadie puede crear un producto por sí mismo, se forman equipos de trabajo para la creación de estos, así como las industrias dependen de las otras para crear productos, debido a que los proveedores compran sus productos en diferentes industrias.

- Sistema de artesanías

Es una producción que puede ser temporal o permanente que ha evolucionado con el hombre de la cual derivan los ingresos a las personas dedicadas a las diferentes creaciones artísticas, necesitan estar coordinadas y tener un talento para la creación de las mismas.

1.2.3. Sistema terciario

El sistema terciario se lo conoce como el sistema insumo-producto que explica la función del sistema de producción de servicios.



1.2.4. Elementos del sistema de producción

Los elementos que conforman un sistema de producción son los siguientes:

- **Materiales:** Son los elementos que nos permiten realizar la operación, materia prima a tratar. (Cuatrecasas Arbós, 2011, pág. 14)
- **Factores o inputs:** Son elementos que permiten llevar a cabo la actividad productiva, dentro de estos se encuentra el trabajo, equipo, recursos y la organización que tendrá la empresa. (Cuatrecasas Arbós, 2011, pág. 14)

- **El proceso de producción:** Elemento central del sistema de producción, constituido por un conjunto de actividades coordinadas para la ejecución de la producción. (Cuatrecasas Arbós, 2011, pág. 14)

Si el proceso es el elemento central de la producción y el producto final de la misma, el objetivo final de la citada producción es su valor añadido, como resultado de la diferencia entre el valor final del producto obtenido y l valor inicial del conjunto de materiales y productos introducidos ya elaborados en el proceso. (Cuatrecasas Arbós, 2011, pág. 14).

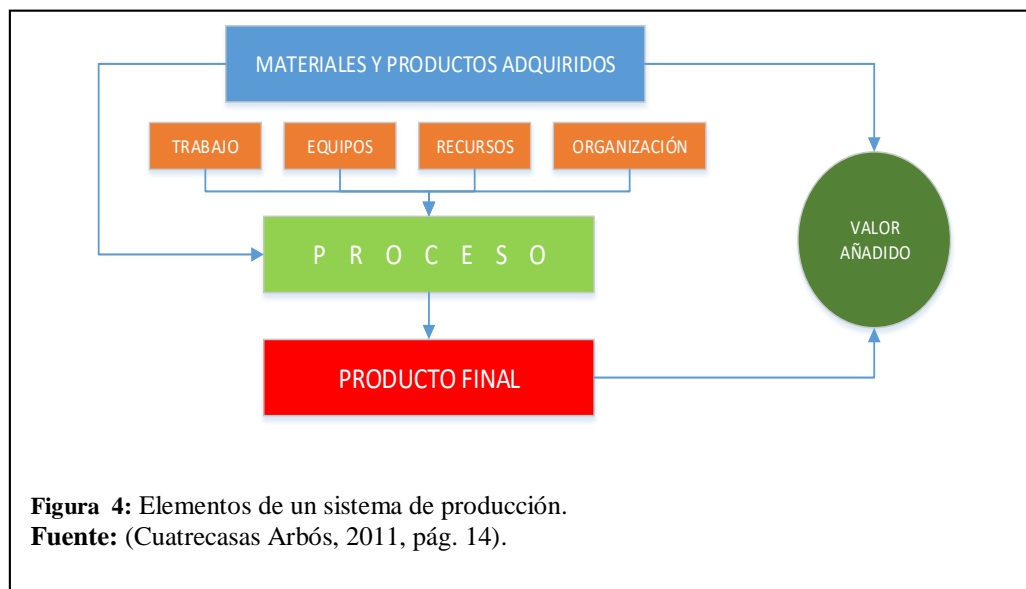


Figura 4: Elementos de un sistema de producción.
Fuente: (Cuatrecasas Arbós, 2011, pág. 14).

1.3. Ergonomía

“Según Jhean Paul Becker, presidente de la Asociación Mexicana de Higiene industrial, un estudio realizado en Estados Unidos comprobó que si el trabajador toma un receso de 3 minutos cada hora, su productividad se incrementa el 60%, ya

que en ese lapso recupera el 20% de su capacidad física para continuar con sus labores. Agrego que una hora de planeación en el trabajo representa un ahorro de 40 horas de trabajo.

Carlos Espejo, presidente y fundador de la Sociedad de Ergonomistas de México A.C, definió a la ergonomía como el matrimonio de las ciencias biomédicas con la ingeniería, mecánica e industria y a mediano plazo, le da beneficios a las empresas. La ergonomía desde el punto de vista natural es la adaptación de la herramientas, procesos y maquinaria al hombre, a su biomecánica, para el eficaz y eficiente desempeño de sus labores, sin deterioro de la salud.

Basada en una serie de métodos y técnicas de trabajo sobre las capacidades humanas como fuerza y postura, así como aspectos psicológicos al momento de tomar decisiones, los resultados de la ergonomía se miden a través de la reducción de costos de incapacidades, rotación y ausentismo”. (Martinez, Jul 14, 2003).

Para poder medir la ergonomía del operador se realizó una encuesta en la cual mediante datos proporcionados por el operador podemos ver la frecuencia de dolor y molestias que tiene antes de la optimización y comparar con la frecuencia de molestias y dolores después de la optimización.

1.4. Mecanismos y Máquinas

1.4.1. Mecanismo

Se denomina mecanismo al conjunto de elementos mecánicos que cumplen una función en un proceso o una máquina. El número de elementos que tiene un

mecanismo, necesariamente, debe ser el número justo que se necesita para cumplir la función o tarea asignada. Cada elemento tiene una función específica y en conjunto se llega al funcionamiento de la máquina, es decir que cumpla la tarea asignada o un movimiento específico. (Salvador Cardona Foix, Daniel Clos Costa, 2001).

1.4.2. Mecanismo de Barras

Este es uno de los mecanismos más simples, ya que se lo puede representar con barras o pares inferiores. La utilidad de este tipo de mecanismos es el de generar trayectorias de los puntos que se desea de las comúnmente llamadas bielas o acopladores. (Salvador Cardona Foix, Daniel Clos Costa, 2001).

Cuando se tiene dos mecanismos de barras que tienen la capacidad de generar una misma curva del acoplador o biela se los denomina cognados. (Salvador Cardona Foix, Daniel Clos Costa, 2001).

El movimiento del palpador tiene dos formas y puede ser de traslación y rotación, la forma de este denominado palpador da lugar a varios tipos que pueden ser: puntual, plano, de patillo, de rodillo, de extremo curvo. (Salvador Cardona Foix, Daniel Clos Costa, 2001).

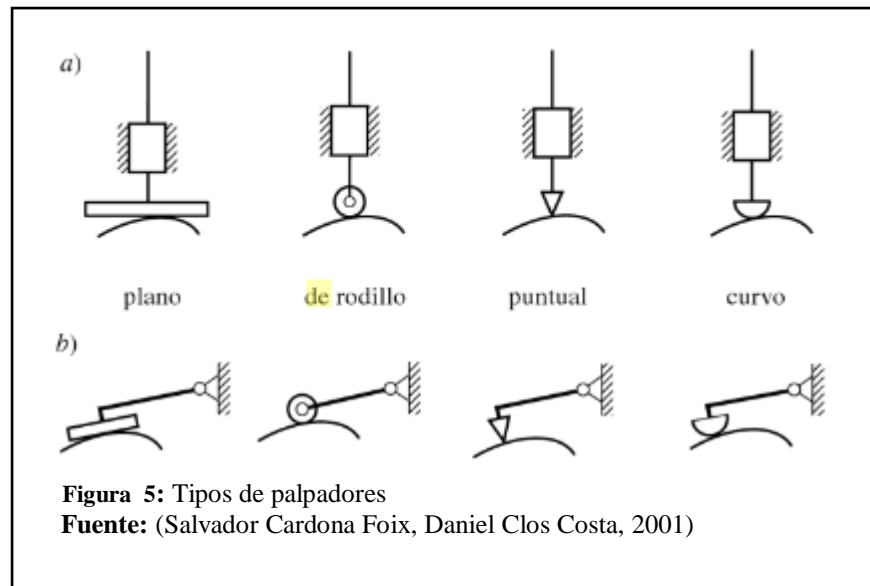


Figura 5: Tipos de palpadores

Fuente: (Salvador Cardona Foix, Daniel Clos Costa, 2001)

La teoría de mecanismos y máquinas es una ciencia aplicada que sirve para comprender las relaciones entre la geometría y los movimientos de las piezas de una máquina o mecanismo, y las fuerzas que generan los movimientos. (Shigley, Joseph Edward; Uicker, John Joseph;, 1988, pág. 1)

Relaux (1988), define “una máquina como una combinación de cuerpos resistentes de tal manera, por medio de ellos, las fuerzas mecánicas de la naturaleza pueden encauzar para realizar un trabajo acompañado de movimientos determinados” (pág. 5), también define “un mecanismo como un combinación de cuerpos resistentes conectados por medio de articulación móviles para formar una cadena cinemática cerrada con un eslabón fijo, y cuyo propósito es transformar el movimiento”. (pág. 5)

En teoría de mecanismos se le designa el nombre de eslabón a una parte específica de una máquina que se encuentra consecutiva a otra o libre. Un eslabón siempre debe estar rígido.

Una cadena cinemática es aquella que se usa para especificar una disposición particular de eslabones articulaciones. (Shigley, Joseph Edward; Uicker, John Joseph;, 1988, pág. 6).

Los grados de libertad de un mecanismo se los conoce como el número de parámetros de entrada que deben controlar independientemente, con el fin de llevar al dispositivo a una posición particular. (Shigley, Joseph Edward; Uicker, John Joseph;, 1988, pág. 7).

Existen dos pares cinemáticos a los que se los conoce como pares superiores e inferiores, los pares superiores son aquellos en donde los eslabones se encuentran en contacto entre superficies; en cambio a los pares inferiores se los divide en cinco tipos de pares cinemáticos los cuales se los conoce como:

- **Par giratorio**, es aquel que solo podrá rotar dentro de su propio eje y por lo tanto posee un grado de libertad.

- **Par primático**, solo permite movimiento relativo de deslizamiento, cuenta con un grado de libertad. (Shigley, Joseph Edward; Uicker, John Joseph;, 1988, pág. 9).

- **Par de tornillo**, cuenta con un solo grado de libertad porque los movimientos de deslizamiento y rotación están relacionados por el ángulo de hélice de la rosca. (Shigley, Joseph Edward; Uicker, John Joseph;, 1988, pág. 9).

- **Par cilíndrico**, permite rotación angular como deslizamiento y posee dos grados de libertad. (Shigley, Joseph Edward; Uicker, John Joseph;, 1988, pág. 9).

- **Par globular**, es una articulación de rotula y posee 3 grados de libertad. (Shigley, Joseph Edward; Uicker, John Joseph, 1988, pág. 9).

1.4.3. Movimientos existentes:

- **Rotación:** El eslabón gira en torno a un eje central.
- **Traslación:** El eslabón se desplaza en línea recta de un punto a otro.
- **Complejo:** Combinación entre movimiento de traslación y rotacional.

1.4.4. Grados de Libertad

Para determinar los grados de libertad de un mecanismo se necesita un cierto número de eslabones y conexiones entre estos.

La fórmula para determinación de grados de libertad es la siguiente:

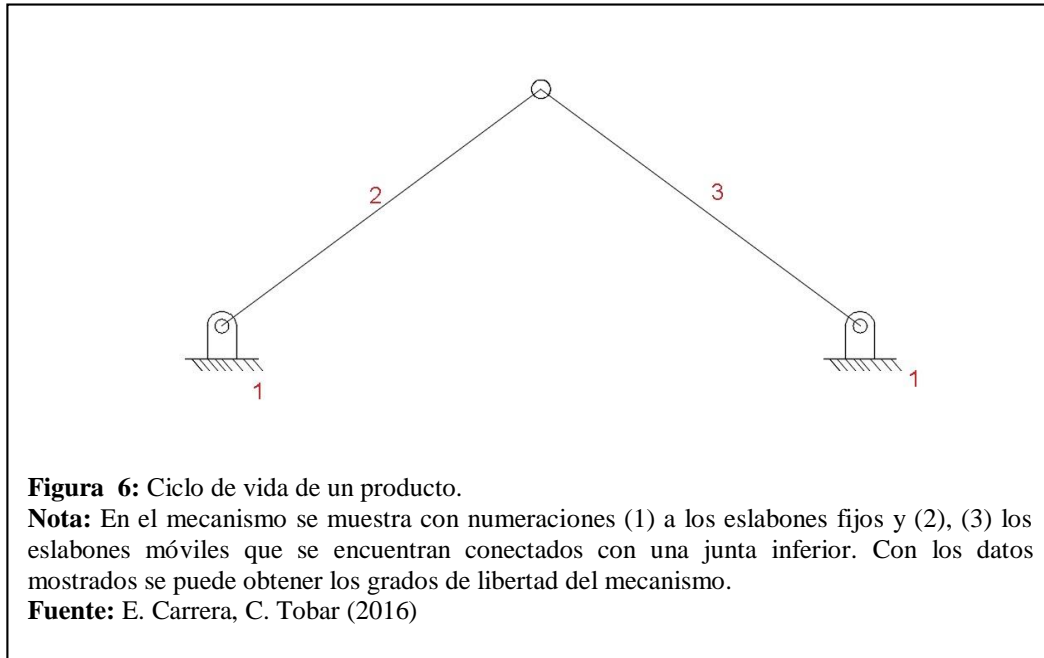
$$\text{GDL} = 3(N - 1) - 2J_1 - J_2; \quad (1)$$

Donde,

N, representa el número de eslabones.

J₁, Juntas inferiores.

J₂, Juntas superiores.



1.4.5. Velocidad

Se conoce como velocidad al desplazamiento en un intervalo de tiempo y su fórmula es:

$$V = \frac{\text{VARIACIÓN DE DISTANCIA}}{\text{VARIACIÓN DE TIEMPO}} \quad (2)$$

Para la rotación de los cuerpos se considera la velocidad angular que se define como la cantidad vectorial cuya dirección es la misma que la del eje instantáneo de rotación. (Shigley, Joseph Edward; Uicker, John Joseph;, 1988, p. 35).

En mecanismos, o sea, el conjunto de piezas, el principal método que se usa es un método gráfico, en donde se considera el movimiento del eslabón. Mediante el escalamiento de las velocidades angulares del mecanismo, podemos obtener como resultado una velocidad respecto a un punto, en un instante dado; utilizado el método vectorial de polígonos colocando una velocidad a continuación de otra hasta obtener la velocidad deseada. Las fórmulas a usar para este análisis son las siguientes:

$$V_B = V_A + V_{AB} \quad (3)$$

$$V = W * R \quad (4)$$

Donde,

V_B , es la velocidad de B

V_A , es la velocidad de A

V_{AB} , es la velocidad de A respecto de B.

1.4.6. Fuerzas

La fuerza es el producto de la masa del objeto por la aceleración. (Vallejo, Patricio; Zambrano, Jorge;, 2010, p. 45). Se representa con la siguiente formula:

$$F = m * a \quad (5)$$

Donde,

m , es la masa del cuerpo.

a , es la aceleración del cuerpo.

La fórmula descrita está basada en la Segunda Ley de Newton, que es la base para el análisis de fuerzas en objetos con una aceleración en un instante.

Para el análisis de la deflexión de la placa a utilizar y su correcto dimensionamiento hay que considerar el peso de la cantidad de azufre que tenemos en la tolva. Shigley (1988) define el peso como, “la fuerza de gravedad que ejerce sobre un cuerpo estático por la masa del mismo”. Se representa con la siguiente formula:

$$W = m * g \quad (6)$$

Donde,

m , es la masa del cuerpo.

g , es la fuerza de gravedad.

Para el cálculo de la fuerza en un mecanismo se considera la fuerza de restricción considerada como la suma de la fuerza de acción y reacción entre dos cuerpos que se conectan. Las fuerzas a calcular tienen magnitud dirección y sentido. (Shigley, Joseph Edward; Uicker, John Joseph;, 1988, pág. 416)

Las fuerzas, al ser un vector, tendrán componentes en x, y, z, la misma que puede ser negativa o positiva dependiendo de la línea de trabajo de la misma.

1.5. Elementos y herramientas de Diseño

1.5.1. Softwares

El ser humano a medida que ha pasado el tiempo ha ido desarrollando nuevas herramientas para facilitar el diseño de equipos mecánicos; entre las herramientas más conocidas están los softwares de CAD dentro de este se encuentran el Autocad, Inventor, Solidworks, entre otros. Estas herramientas se han vuelto indispensables para el diseño debido a que permiten cálculos rápidos y precisos.

1.6. Normas de diseño

Las normas de diseño son parámetros establecidos que permiten al hombre desarrollar partes de máquinas, siguiendo estándares de calidad y uniformidad.

La investigación a realizar se basará en cuatro normas fundamentales para el diseño mecánico que son las siguientes: American Welding Society (AWS), American Society of Mechanical Engineers (ASME), International Standards Organization (ISO), American Iron and Steel Institute (AISI). (Budynas, Richard G.; Nisbett, Keith, 2012, pág. 12).

1.7. Aleaciones

Un acero aleado implica que contiene más de dos elementos combinados además del carbono. (Budynas, Richard G.; Nisbett, Keith, 2012, pág. 16)

- **Cromo:** La adición de cromo provoca la formación de varios carburos de cromo y refina la estructura del grano de tal manera que los efectos combinados causan un

incremento de la tenacidad y la dureza. (Budynas, Richard G.; Nisbett, Keith;, 2012, pág. 16)

- **Tungsteno:** Se emplea mucho en aceros de herramienta porque el incremento retendrá su dureza aun al rojo vivo. El tungsteno produce una estructura fina y densa que agrega dureza y tenacidad, el efecto es similar al del molibdeno pero el tungsteno debe aplicarse en cantidades mayores. (Budynas, Richard G.; Nisbett, Keith;, 2012, pág. 17)

1.8. Factor de seguridad

Es un parámetro adimensional que permite sobredimensionar los cálculos desarrollados para un componente o equipo con el único objetivo de aumentar la seguridad de los equipos aumentando costos.

Los componentes de equipos deben ser diseñadas en base a la máxima carga que soporta el mismo; es decir que el valor de esta carga debe ser mucho mayor al valor de la carga de funcionamiento del equipo a condiciones normales.

El factor de seguridad se expresa mediante la fórmula:

$$N = \frac{S}{\text{Esfuerzo admisible}} \quad (7)$$

Donde,

N, es el factor de seguridad del equipo

S, es el último esfuerzo que soporta el componente.

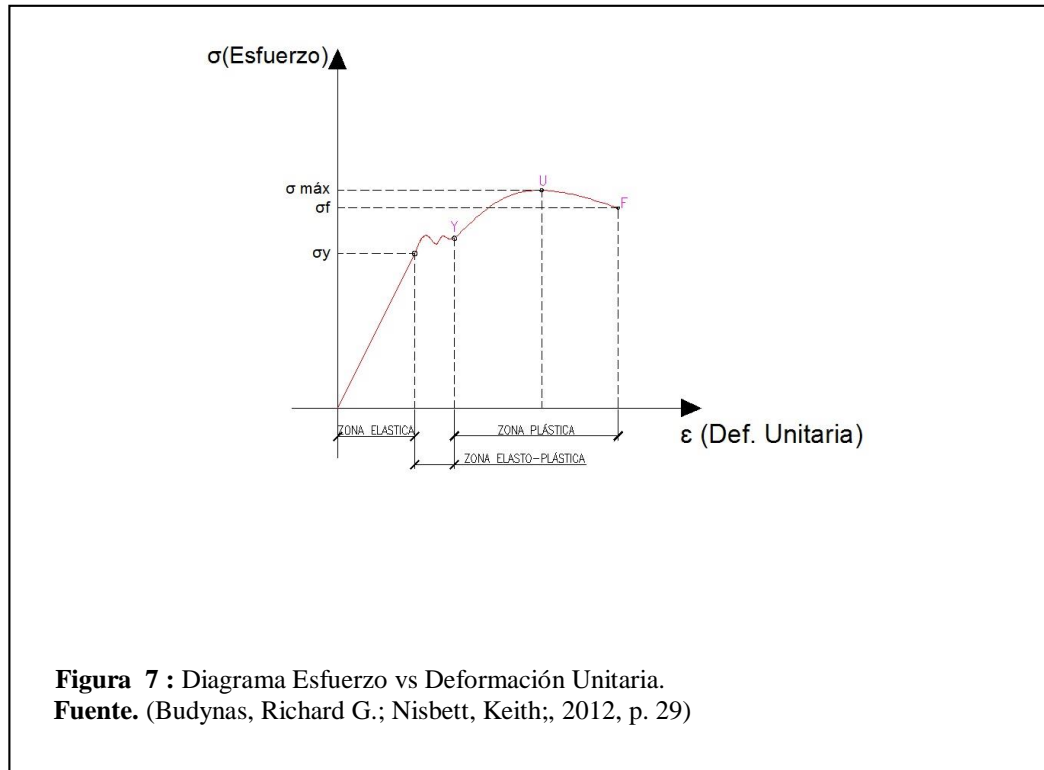
1.9. Esfuerzo y deformación

El esfuerzo es una propiedad de estado en un punto específico dentro de un cuerpo, la cual es una función de la carga, la geometría, la temperatura y el proceso de manufactura. (Budynas, Richard G.; Nisbett, Keith;, 2012).

Las resistencias de los materiales son magnitudes de esfuerzos en los cuales, es una propiedad de un elemento que depende de la elección, el tratamiento y el procesamiento del material. (Budynas, Richard G.; Nisbett, Keith;, 2012).

Todos los cuerpos al ser sometidos por una fuerza externa sufren deformaciones, en el caso de placas planas con fuerzas puntuales sufren deflexiones positivas o negativas dependiendo la dirección de la fuerza y la ubicación de sus apoyos. (Budynas, Richard G.; Nisbett, Keith;, 2012).

El gráfico esfuerzo vs. deformación unitaria nos representa la elasticidad que tiene el material dependiendo sus propiedades, el punto de fractura es el punto donde el material alcanza su máximo esfuerzo y sufre una fractura.



1.10. Tolva

Es un elemento que permite el almacenamiento de producto al proceso que se esté realizando, en este caso la tolva permite almacenar azufre el cual va a ser procesado en el molino de martillos.

Las tolvas se dimensionan de acuerdo a modelos matemáticos, siendo una característica muy importante el volumen el cual se necesita que la tolva proporcione al proceso; también se tiene un ángulo de inclinación. Este ángulo nos ayuda a que el producto se deslice por fuerza de la gravedad.

1.11. Dosificador

Se encarga de controlar la salida del producto terminado, en el caso del azufre cuando ya se encuentra realizado el proceso de molienda, el dosificador regula el volumen necesario por almacenar.

En el presente proyecto no se tienen mezclas de diferentes productos, el dosificador solo se encargará de proporcionar 200kg de azufre molido después de la optimización, para luego ensaquillar.

1.12. Soldadura

Se denomina soldadura a la fusión del metal donde el calor se lo concentra en una zona determinada a una temperatura elevada. Una parte del metal con estas altas temperaturas se funde dando lugar a que se forme el denominado cordón de soldadura, que es el metal líquido. (Solá, 1992).

1.12.1. Procedimientos de Soldadura

- Soldadura Autógena

En la soldadura autógena se utilizan dos métodos que son los más conocidos y fundamentales al momento de realizarla:

- a) Fusión únicamente del metal que se desea fundir.
- b) Aporte de un metal de relleno.

Cuando se realiza este método, según Solá, la superficie de contacto aumenta en el caso que se aplique una presión en las placas en las que se está soldando, la

soldadura depende no solo de la temperatura a la que se realiza sino también de la presión de contacto de las dos superficies y del tiempo al que se expongan las superficies. (Solá, 1992).

1.12.2. Mig

En este método de soldadura el arco el arco no solo funde el metal sino también el electrodo, de esta manera se alimenta la soldadura con el material de aportación, los electrodos debido al desgaste se consumen muy rápidamente por lo cual se debe cambiar para el proceso de soldadura. La corriente que se utiliza para este tipo de soldadura es continua conectándose el electrodo en el polo positivo, cuando se conecta la pistola al hilo positivo tiene mayor penetración del metal. (Solá, 1992)

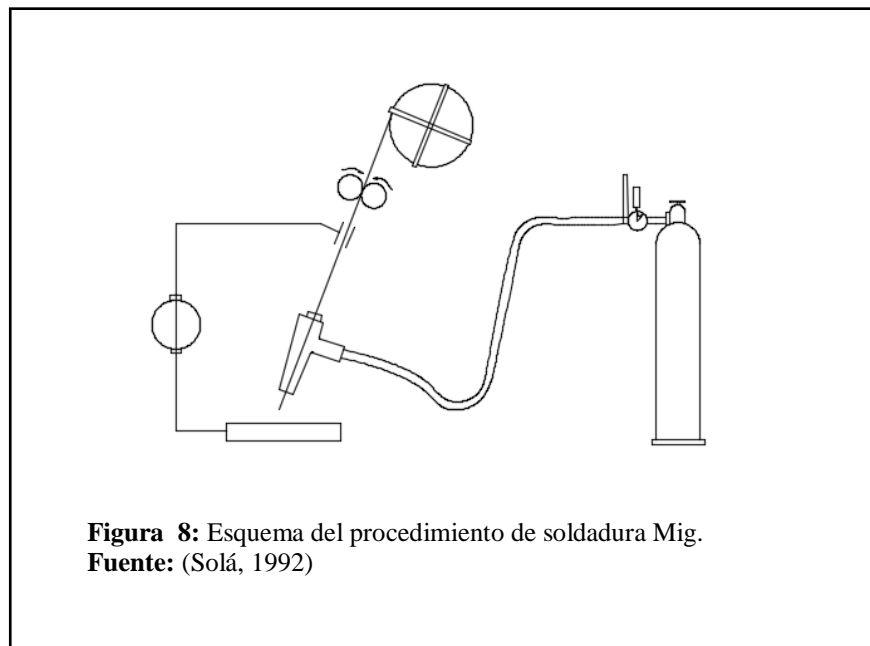


Figura 8: Esquema del procedimiento de soldadura Mig.
Fuente: (Solá, 1992)

1.13. Molino de Martillos

Un Molino de Martillos es una máquina encargada de triturar un material mediante martillos debidamente dimensionados conectados por un eje. El principio de este molino es el impacto que se produce mediante dos cuerpos.

El molino consta de una parte móvil que se lo conoce como martillo que gira alrededor del eje de rotación, consta de una criba o comúnmente llamada malla, esta nos ayuda a que el material que ya se encuentra molido se pueda filtrar a través de orificios que posee y de esta manera pueda pasar por esta criba realizando la función de un tamiz. Los elementos antes mencionados giran a velocidades altas de aproximadamente 1710 a 4000 RPM. (Cárdenas Mosquera, 2011, pág. 46).



Figura 9: Martillos del molino.
Fuente: E.Carrera, C. Tobar, (2016)

CAPÍTULO 2

ALTERNATIVAS DE TRABAJO

2.1. Selección de alternativas

Actualmente el sistema de producción carece de seguridad hacia el operador, funciona de manera artesanal debido a su construcción, los tiempos de producción son altos y el operador sufre de problemas de ergonomía debido a que siempre carga costales sobre sus hombros, por estos motivos se procedió y se analizaron varias alternativas de mejora en el sistema de producción conversando con el operador y el director del proyecto.

2.1.1. Alternativa 1

Dosificador en parte inferior, después de procesamiento de azufre a pequeños granos y ensaquillado continuo al proceso, construcción de cámara hermética y coche auxiliar para movimiento de cargas.

- Ubicación de dosificador continuo a caída de material procesado por los martillos.
- Ensaquillado con caída directa al saco y abrazaderas de seguridad.
- Tobera extendida 100 cm con un ángulo de inclinación de 20 grados para ubicación mayor cantidad de material soportada mediante dos tubos cuadrados bajo esta, colocación de resortes bajo la tobera para facilidad de deslizamiento de material.
- Sellado hermético de almacenamiento de azufre.
- Colocación de extractor de polvo.

- Ubicación de una puerta en caja hermética para evitar escape de polvo de esta. La puerta fabricada en metacrilato de colada conocida como vidrio acrílico.
- Ubicación de soporte de madera estático para asentamiento de sacos bajo el dosificador.
- Construcción de coche metálico de con una plancha de 1 pulgada de espesor que soporte un peso de 5 sacos distribuido en 4 ruedas.

a. Ventajas

- Al ubicar el dosificador en esta posición luego del procesamiento de azufre ahorrará costos de construcción.
- La tobera extendida aumentará la cantidad de material en el molino de martillos, esto ahorra tiempo de producción.
- La colocación de resortes en el soporte de la tobera mejorará el deslizamiento del material hacia la caja de martillos.
- El ensaquillado directo a la caída ahorra costos de construcción.
- Las puertas de vidrio acrílico y el sellado hermético evita el escape de polvo lo que disminuirá la absorción de polvo por parte del obrero.
- El coche metálico mejorará la ergonomía del obrero y disminuirá el tiempo de carga de sacos por parte de este.
- Costo de construcción del sistema de producción relativamente bajo.
- La construcción del coche para carga mejorará la ergonomía del operador al no cargar los sacos.
- Reducción de tiempos de producción en el sistema.

b. Desventaja

- La placa del dosificador podría doblarse con el peso del material sobre ella y para el obrero será muy difícil girar y volver a colocar en posición inicial el dosificador.
- La acumulación de material sobre el dosificador puede causar daños a los martillos dentro de la carcasa.
- El ensaquillado directo puede causar perforación dentro de los sacos por la velocidad de caída del azufre.
- El trabajo por parte del obrero deberá ser muy rápido lo que cansará rápidamente al mismo.
- El giro del volante del dosificador será muy lento y forzado debido a la acumulación de material.
- La ergonomía del operador se verá afectada debido al rápido accionar del operador.

2.1.2. Alternativa 2

- Dosificador en la tobera, ensaquillado continuo del procesamiento de azufre con inclinación de 10 grados para que el azufre deslice con facilidad, construcción de cámara hermética y coche auxiliar para movimiento de cargas.
- Ubicación de dosificador en tobera mediante el uso de un brazo mecánico que permitirá la apertura y cierre de la caída de material hacia los martillos del molino.
- Ensaquillado con inclinación hacia el saco con una inclinación de 30 grados y abrazaderas para sostener el saco.

- Tobera extendida 100 cm con un ángulo de inclinación de 10 grados para ubicación mayor cantidad de material soportada mediante dos tubos cuadrados bajo esta, colocación de resortes bajo la tobera para facilidad de deslizamiento de material.
- Sellado hermético de almacenamiento de azufre.
- Colocación de extractor de polvo.
- Ubicación de una puerta en caja hermética para evitar escape de polvo de esta. La puerta fabricada en metacrilato de colada conocida como vidrio acrílico.
- Ubicación de soporte de madera estático para asentamiento de sacos bajo el ensaquillador.
- Construcción de coche metálico de con una plancha de 1 pulgada de espesor que soporte un peso de 5 sacos distribuido en 4 ruedas.
- La construcción del coche para carga mejorará la ergonomía del operador al no cargar los sacos.

a. Ventajas

- Al ubicar el dosificador en esta posición en la tobera permitirá regular de mejor manera la cantidad de azufre que será procesada por la caja con los martillos.
- La tobera extendida aumentará la cantidad de material en el molino de martillos, esto ahorra tiempo de producción.
- La colocación de resortes en el soporte de la tobera mejorará el deslizamiento del material hacia la caja de martillos.

- El ensaquillado con una inclinación luego de ser procesado el azufre permitirá disminuir la velocidad de caída de material y disminuirá el riesgo de perforación del saco.
- Reducción de tiempos de producción en el sistema.
- Las puertas de vidrio acrílico y el sellado hermético evita el escape de polvo lo que disminuirá la absorción de polvo por parte del obrero.
- El coche metálico mejorara la ergonomía del obrero y disminuirá el tiempo de carga de sacos por porte de este.
- Costo de construcción del sistema de producción medio.
- El operador podrá controlar fácilmente el sistema de producción con esta alternativa.
- La ergonomía del operador no se verá afectada con estas implementaciones.

b. Desventajas

- Al encontrarse el dosificador en la parte superior (en la tobera) se debe construir un brazo con cambio de giro para que el operador pueda maniobrar fácilmente la caída de material, lo que aumentara el costo de construcción del volante.
- Costos altos de construcción de cardan para cambios de giros por parte del operador.
- El ensaquillado tendrá un mayor costo debido a que se debe construir una reducción con inclinación para disminuir la velocidad de caída del azufre.

2.1.3. Alternativa 3

Dosificador en la tobera, ensaquillado continuo del procesamiento de azufre con inclinación de 30 grados, construcción de cámara hermética y coche auxiliar para movimiento de cargas. Todo el procedimiento automatizado. En esta alternativa se aplicarán los mismos elementos de la alternativa anterior con la diferencia que todo el proceso se automatizará mediante el uso de sensores de peso, timers y una válvula solenoide conectada a un controlador.

El procedimiento en esta alternativa es igual al procedimiento general del sistema de producción pero se colocara un pulsador para el operador de paso a la caída de material en el saco, lo que conlleva a la colocación de un sensor de peso ubicado en la parte inferior del saco para que al momento de llenar los 50 kg que contiene un saco lleno de azufre se cierre la válvula solenoide. Al igual que la alternativa anterior tendrá un cierre hermético el sistema con un extractor de polvo y un coche auxiliar para carga de 5 sacos equivalentes a 250 kg.

a. Ventajas

- Reducción de tiempos de producción al automatizar el sistema.
- Mejora de ergonomía del operador.
- Facilidad de trabajo para el operador a cargo.

b. Desventajas

- Altos costos de construcción debido a materiales electrónicos y electroválvulas que no representa la producción que se tendrá.

- Mantenimiento especializado y costoso.

2.2.Ponderación de las alternativas

De acuerdo a las alternativas planteadas se realizará la selección, mediante la cual se tomará la decisión más acertada, las características que se van a tomar en cuenta para la ponderación son:

- Costo de fabricación.
- Manejo de producto.
- Facilidad de construcción.
- Facilidad de mantenimiento.
- Facilidad de uso.
- Seguridad de manejo.

Al momento de evaluar las características se utiliza una escala de 1 a 10 donde 1 es el puntaje más bajo y 10 es el más alto y se obtiene los siguientes resultados:

Tabla. 2: Ponderación de análisis de alternativas

PONDERACION DE ALTERNATIVAS			
Características	Alternativa 1	Alternativa2	Alternativa 3
Costo de fabricación	9	8	10
Manejo de producto	7	10	7
Facilidad de construcción	8	9	8
Facilidad de mantenimiento	7	9	6
Facilidad de uso	8	8	7
Seguridad de manejo	8	9	7
Total	47	53	45

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016)

De acuerdo a la ponderación de las alternativas se observa que la alternativa 2 tiene mayor puntaje de acuerdo a lo considerado, por lo cual se procede a optar por esta alternativa.

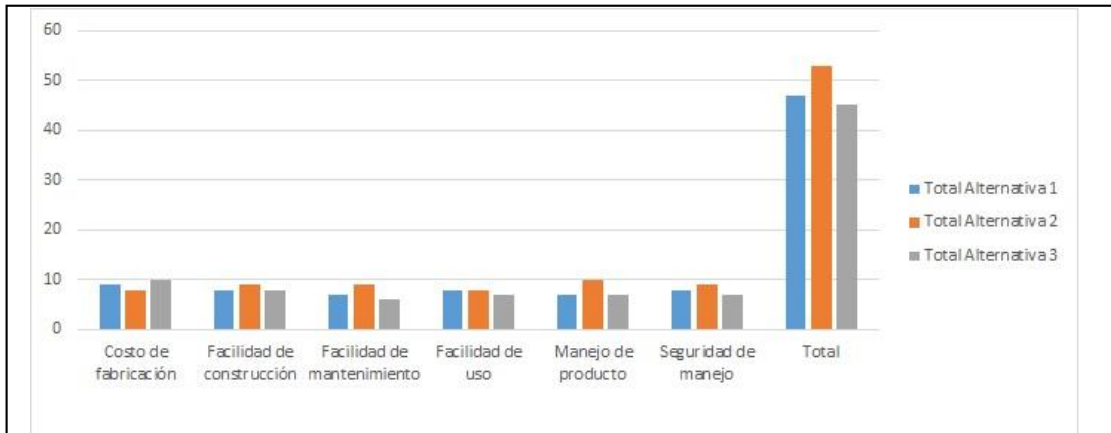


Figura 10: Gráfico de ponderación de alternativas

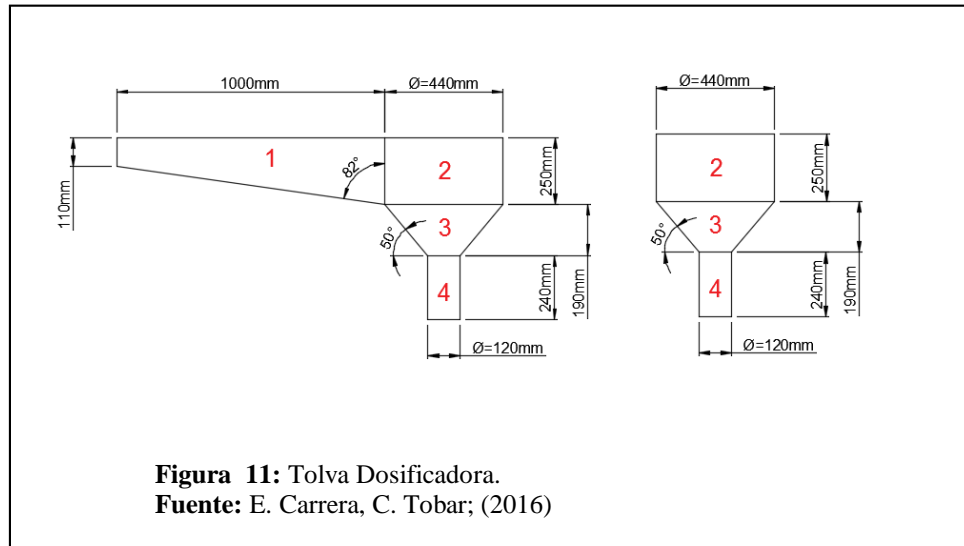
Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016)

CAPITULO 3

DISEÑO DE ELEMENTOS DE SISTEMA DE PRODUCCIÓN.

3.1. Diseño de elementos

3.1.1. Cálculo de volumen de Tolva con extensión



Debido a conversaciones con los implicados se analizó que la tolva debe tener las medidas de la figura mostrada, porque con esta ampliación aumenta más del 50% de masa y en costos es factible.

Para realizar el diseño y cálculo del volumen de la tolva se debe considerar las siguientes formulas:

Donde:

V_1, V_2, V_3, V_4 Son volúmenes de las áreas 1, 2, 3, 4 señaladas en la figura 11.

r_1, r_2 Son radios de los volúmenes marcados debido a que son cilindros.

$$h1 = 24cm.$$

$$h2 = 25cm.$$

$$h2 = 19cm.$$

$L1, L2, L3$. Lados de extension de tolva en V1.

A continuación, se realiza el análisis matemático.

$$V_4 = \pi * r1^2 * h1 \quad (8)$$

$$V_4 = (\pi * 12^2 * 24) cm^3$$

$$V_4 = 2714.33 cm^3$$

$$V_3 = \frac{\pi}{3} h3 * (r2^2 + r1^2 + r2 * r1) \quad (9)$$

$$V_3 = \frac{\pi}{3} * 19 * (22^2 + 6^2 + 22 * 6) cm^3$$

$$V_3 = 12972.68 cm^3$$

$$V_2 = \pi * r1^2 * h2 \quad (10)$$

$$V_2 = (\pi * 22^2 * 25) cm^3$$

$$V_2 = 38013.27 cm^3$$

$$V_1 = L1xL2xL3 + \frac{L1xL2xL3}{2} \quad (11)$$

$$V_1 = (100x11x44) cm^3 + \frac{(100x14x44) cm^3}{2}$$

$$V_1 = 79200 \text{ cm}^3$$

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 132898.91 \text{ cm}^3 = 0.1328 \text{ m}^3$$

A continuación, se calcula la cantidad de azufre que entra en ese volumen.

Conociendo:

d = densidad de azufre.

m = masa de azufre.

V = volumen de azufre.

$$d_{\text{azufre}} = 1960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$d = \frac{m}{V} \quad m = d * VT \quad (12)$$

$$m = 1960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,1329 \text{ m}^3$$

$m_{\text{ampliacion}} = 260.48 \text{ kg}$ Esta masa es la total que producirá el molino en un ciclo de trabajo, esto se dará con el aumento de la sección 1 que se está fabricando.

A continuación, se calcula la masa sin el aumento de la sección 1, es decir cómo se encuentra trabajando en la actualidad.

$$m_{\text{sin ampliacion}} = 0.00196 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} * V_{2+3+4}$$

$$m_{\text{sin ampliacion}} = 0.00196 \frac{kg}{cm^3} * 53700.28 cm^3$$

$$m_{\text{sin ampliacion}} = 105.22 kg$$

Esta masa es la total que produce el molino en un ciclo de trabajo. Como se trabaja con sacos de 50 kg se divide el valor de la masa para saber el número de sacos que se puede obtener antes de aumentar la sección 1 y después de hacerlo.

$$\#sacos = \frac{m_{\text{sin ampliacion}}}{50 kg}$$

$$\#sacos = \frac{105.22 kg}{50kg}$$

#sacos = 2.1 Por ciclo de trabajo, este valor se obtiene sin la ampliación de la tolva, sección 1.

Ahora se calcula el número de sacos que se obtiene con la ampliación de la sección:

$$\#sacos = \frac{m_{\text{ampliacion}}}{50 kg}$$

$$\#sacos = \frac{260.48 kg}{50 kg}$$

#sacos = 5.2. Por ciclo de trabajo.

Como no se aprovecha todo el espacio de la tolva y no se toma en cuenta el espesor del material con el que se fabrica la tolva, se debe considerar un margen el 5% del volumen no ocupado.

$$\#sacos = 2.1 * 0.95 = 1.9$$

$\#sacos = 1.9$. Por ciclo de trabajo, este es el valor de sacos tomando en cuenta factor de desperdicio, sin aumento de la sección 1.

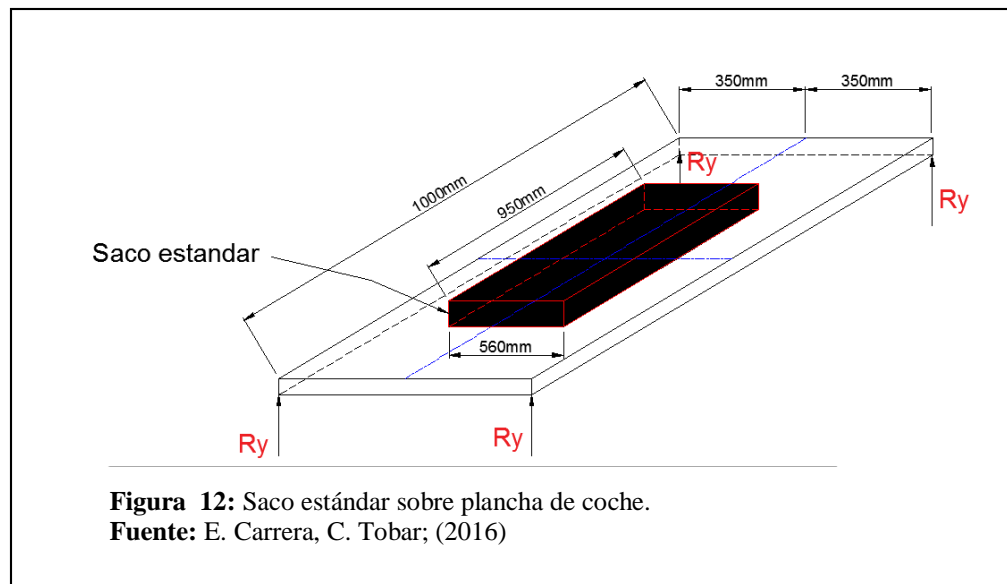
$$\#sacos = 5.2 * 0.95 = 4.95$$

$\#sacos = 4.95$. Por ciclo de trabajo, este es el valor de sacos tomando en cuenta un 5% de factor de desperdicio con la sección 1.

Cada ciclo de trabajo constituye a un proceso molienda, donde el obrero coloca el material en la tolva y el molino realiza su trabajo para luego ensaquillar.

3.1.2. Diseño de Coche de carga

- *Reacciones*



Debido a que el saco estándar tiene la dimensión más larga de 950mm, se procederá a transformar la carga distribuida del saco en una carga puntual concentrada en el centro del coche.

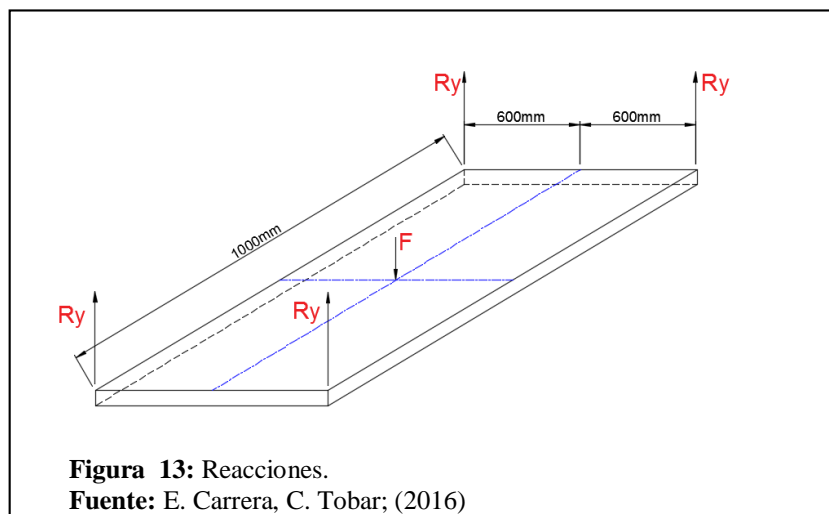
Conociendo que la carga W es una carga distribuida pero la transformamos una carga puntual tomando la distancia más larga que es de 1m, asumiendo que las reacciones son las mismas en todos los puntos.

50kg/m es el peso de un saco, pero necesitamos que cargue 4 sacos, en total la carga sería de 200kg/m, tomando en cuenta la dimensión del saco que en nuestro caso es $d=950\text{mm}$, entonces para calcular la fuerza puntual que tiene un saco sobre el coche se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$W * d = 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0.95\text{m} = 190\text{g}; \quad (13)$$

La fuerza de 190kg la llamaremos F .

R_y , se conocerá como la reacción en Y de la fuerza puntual, realizamos la sumatoria de fuerzas Y como se observa en la imagen.

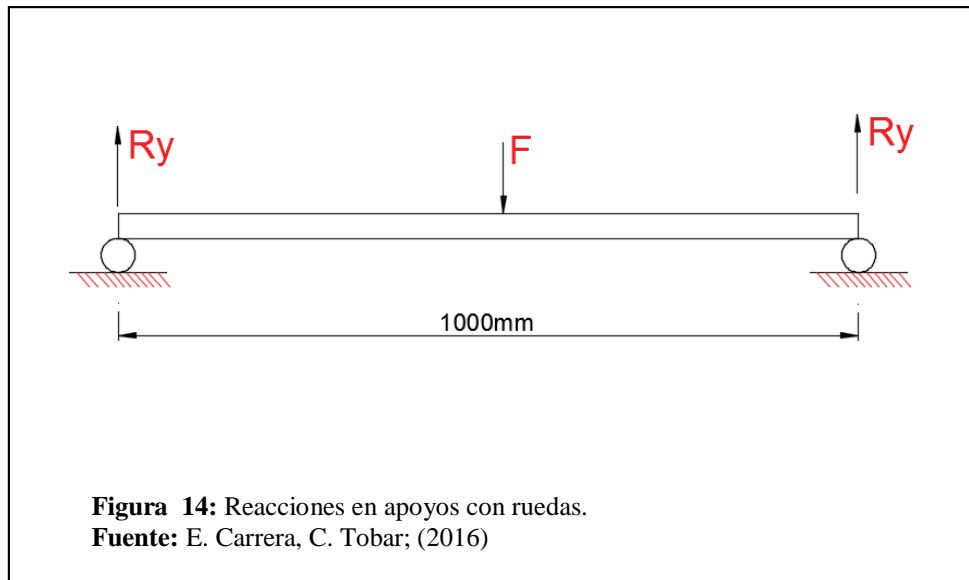


$$\sum f_y = 0$$

$$4 * R_y - F = 0$$

$$R_y = \frac{190kg}{4} = 47,5kg$$

Ahora se calculará la deflexión de la plancha de espesor $\frac{1}{2}$ pulgada.



I_x es la inercia en el eje x, se debe usar esta inercia debido a que en este eje recibe la mayor carga y lo utilizaremos para calcular la deflexión máxima, de esta manera seleccionaremos el espesor de la plancha.

h , es la altura de la plancha que al estar en sentido longitudinal será $\frac{1}{4}$ pulgada.

b , es la base de la plancha que es igual, 0,1m.

$$I_x = \frac{1}{12} * (b) * (h)^3 \quad (14)$$

$$I_x = \frac{1}{12} * (1) * (0.00635)^3 = 2.13 \times 10^{-8} m^4$$

Se calculará la fuerza que se ejercerá sobre la plancha, 5 sacos equivalentes a 250 kgf, la cual será transformada a newtons.

$$F = 250 kgf * \frac{9.8 N}{1 kg} = 2450 N$$

Al obtener los datos anteriores procederemos a calcular la deflexión máxima en la plancha y de esta manera seleccionar la adecuada para el tipo de trabajo.

Conociendo:

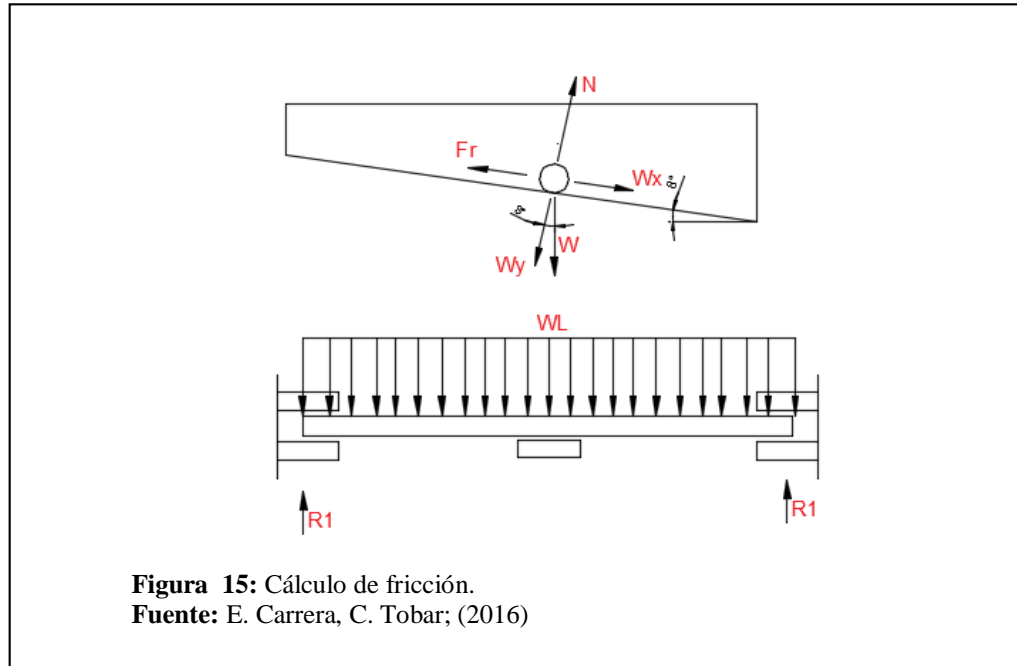
$$E = 210000 \times 10^6 Pa \quad (15)$$

$$\Delta_{max} = \frac{F * l^3}{48 * E * I} \quad (16)$$

$$\Delta_{max} = \frac{2450 N * 1^3 m^3}{48 * \left(210000 * 10^6 \frac{N}{m^2} * 2.13 \times 10^{-8} m^4 \right)} = 1.143 \times 10^{-2} m = 11 mm$$

Debido a que tiene una pequeña deflexión se debe seleccionar una plancha ¼ de pulgada para soportar una carga de 5 sacos, reforzando la parte central del coche para evitar la deflexión de 11mm.

3.1.3. Cálculo de Placa de dosificador



Se determinó experimentalmente el coeficiente de fricción entre el azufre en grano y el acero, se concluyó que el coeficiente de fricción dinámico será de 0.3 y la pendiente será de 20°.

Datos:

V_{tolva} = volumen de extensión de la tolva

W = peso de la extensión de la tolva

m = masa cuando la tolva esta llena de material

$$g = \text{gravedad} = 9.8 \text{ N} \quad (17)$$

$$\text{Dens. de azufre} = 1960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = d \quad (18)$$

Con los datos planteados se procede a calcular el espesor de la placa que usaremos para el control de paso de material:

$$m = d * V_{tolva} \quad (19)$$

$$m = 1960 \frac{kg}{m^3} * 0.0792 = 155.23kg$$

$$W = m * g = 155.23kg * 9.8 m/s^2 \quad (20)$$

$$W = 1521.25N$$

El coeficiente de fricción se lo calculó experimentalmente.

$$\sum f_y = 0$$

$$W_y - N = 0 \quad (21)$$

$$W_y = N = Fr / (\text{coeficiente de fricción})$$

$$Fr = 1521.25N * \cos 20^\circ * 0.3 = 428.93N$$

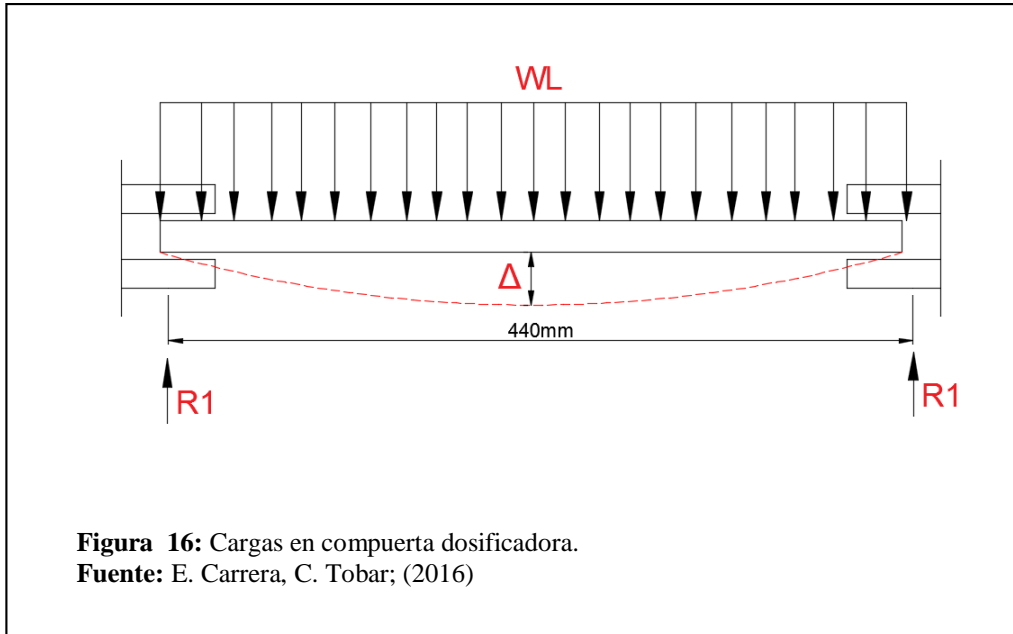
$$\sum f_x = 0$$

$$Fr - W_x + F = 0 \quad (22)$$

$$F = 451.93N - 1521.25N * \sin 8^\circ$$

$$F = 240.21N$$

Conociendo la fuerza F, se debe calcular la deflexión que tendrá la placa para distintos espesores y escoger la placa que tenga menor deflexión.



- Usando una placa de 1/16 de pulgada.

$$I = \frac{1}{12} * (b)(h)^3 \quad (23)$$

$$I = \frac{1}{12} * (0.44m)(0.0015m)^3$$

$$I = 1.23 \times 10^{-10} m^4$$

$$\Delta = \frac{5w * l^4}{384 * E * I} \quad (24)$$

Debido que 240.21 es el resultado de w*l y nosotros para el cálculo de deflexión solo necesitamos w procedemos a dividir w/l dentro de la fórmula.

$$\Delta = \frac{5 * \frac{240.21N}{0.44m} * (0.44)^4 m^4}{384 * 210000 * \frac{10^6 N}{m^2} * 1.23 \times 10^{-10} m^4}$$

$$\Delta = 0.01m = 10mm$$

No se puede usar una placa de este espesor debido a que la deflexión es elevada.

- Usando una placa de 1/8 de pulgada.

$$I = \frac{1}{12} * (b)(h)^3 \quad (25)$$

$$I = \frac{1}{12} * (0.44m)(0.003m)^3$$

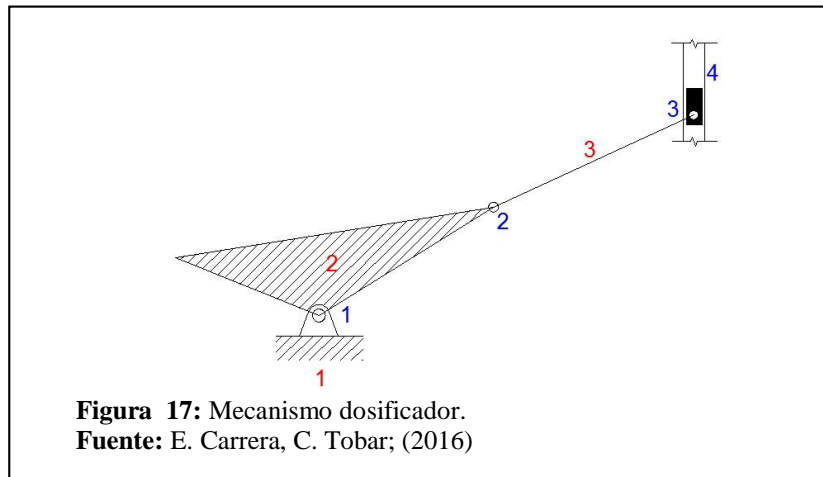
$$I = 9.9 \times 10^{-10} m^4$$

$$\Delta = \frac{5w * l^4}{384 * E * I} \quad (26)$$

$$\Delta = \frac{5 * \frac{240.21N}{0.44m} * (0.44)^4 m^4}{384 * 210000 * \frac{10^6 N}{m^2} * 9.9 \times 10^{-10} m^4} = 1.26 \times 10^{-3} m$$

Se utilizará una placa de 1/8 para el diseño del dosificador y se colocará un apoyo céntrico para evitar la deflexión de 1.26mm y como medida de seguridad.

3.1.4. Diseño de Mecanismo de apertura y cierre de dosificador



$$w = 3n - 2p - k \quad (27)$$

$$w = 3(3) - 2(4) - 0 = 1$$

Para calcular el eje que recibirá tracción por parte del usuario y el mecanismo de apertura y cierre calculamos los esfuerzos q recibirá este eje.

3.1.5. Cálculo de espesor de soldadura en tolva-mecanismo y mesa

Para el diseño se seleccionó acero A36, debido a que tiene gran resistencia.

El diseño de soldadura se lo generalizó en todas sus partes, el cálculo se lo realizó para la mesa debido a que esta es la que soporta la mayor carga en el sistema de producción. Entonces:

$$\tau = \frac{\tau \text{ admisible}}{\text{factor de seguridad}} = \frac{P}{0.707 * hc * L_w * N} \quad (28)$$

Conociendo que:

Para un electrodo 70XX que son los más usados en la industria el esfuerzo de fluencia es de 393MPa, (Budynas, Richard G.; Nisbett, Keith;, 2012).

P , *carga de tensión.*

hc , *longitud del cateto de la soldadura.*

L_w , *longitud del cordón de soldadura*

N , *número de cordones de soldadura*

En el caso del diseño de soldadura en las partes principales de la mesa se calcula la soldadura mediante tensión puro, por el peso de la extensión de la tolva y sus implementos. Soporta una carga de 100000N en el peor de los casos.

Colocamos un factor de seguridad de 2.

$$\tau = \frac{\tau \text{ admisible}}{\text{factor de seguridad}} = \frac{P}{0.707 * hc * L_w * N}$$

$$\frac{393MPa}{2} = \frac{100000N}{0.707 * hc * 0.110mm * 2} =$$

$$hc = 1.63 * 10^{-3}m, \text{ lo aproximamos a } \frac{1}{8} \text{ de pulgada}$$

En los bordes utilizamos 1/8 de soldadura para cerrar la tolva, esta soldadura será estándar.

3.1.6. Diseño de tolva dosificadora

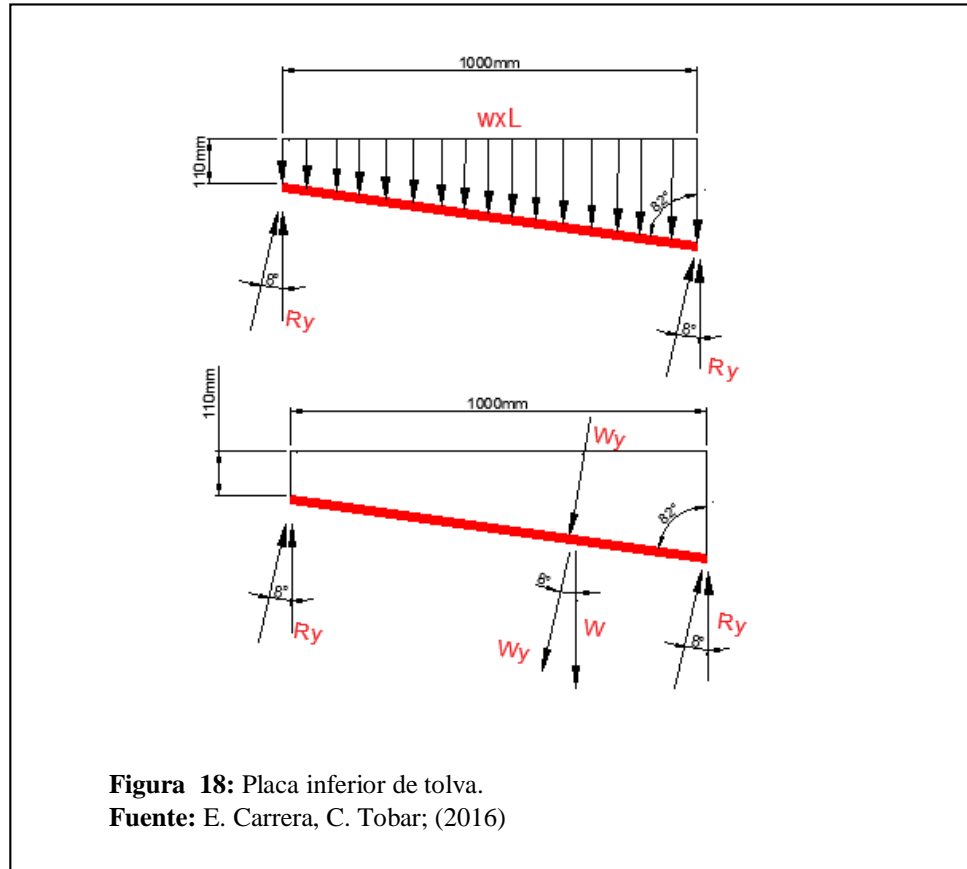


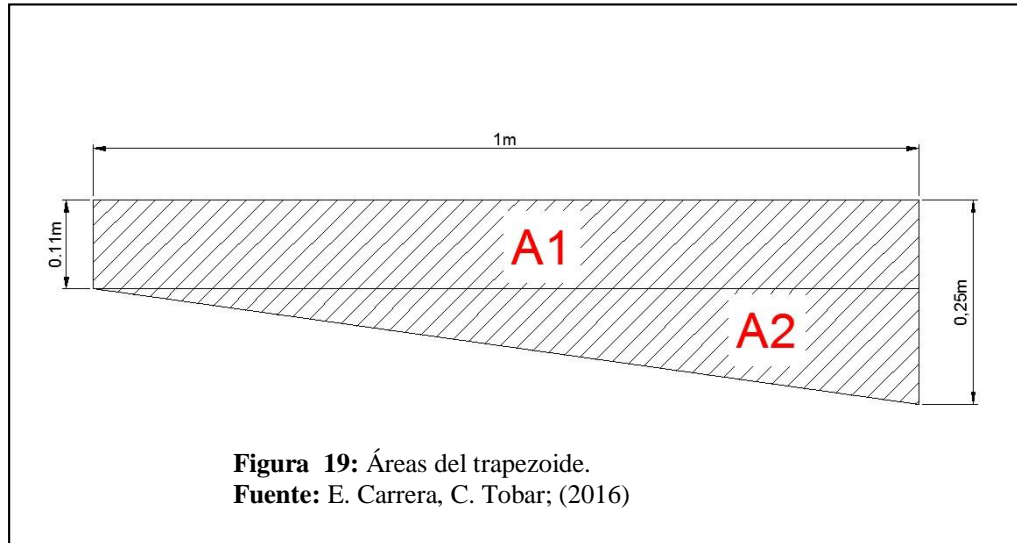
Figura 18: Placa inferior de tolva.
Fuente: E. Carrera, C. Tobar; (2016)

La carga distribuida wxL se convierte en una carga W_y puntual conociendo que $W_y = W \cdot \cos(8^\circ)$ y W es de 200kg, debido a que la carga que soportará la tolva será de 200kg, entonces $W_y = 198 \text{ N}$.

Para el cálculo de la placa se debe utilizar el manual de la AISC, donde se encuentran las fórmulas de deflexiones ya estandarizadas.

Para el cálculo se necesita conocer el centro de gravedad en el eje x de la fuerza distribuida para conocer el punto de mayor aplicación de la fuerza. Entonces:

Se debe calcular el área de la figura geométrica.



$$A = \left(\frac{B_{mayor} + B_{menor}}{2} \right) * h \quad (29)$$

$$A = \left(\frac{0.25 + 0.11}{2} \right) * 1$$

$$A = 0.18m^2$$

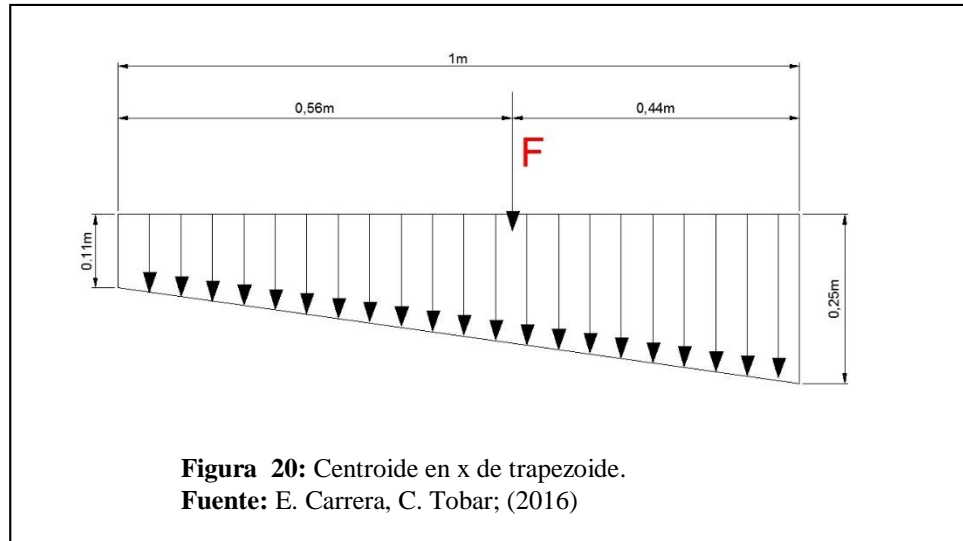
Cálculo de centroide de la figura:

$$Centroide\ X = \left(\frac{A1 * X1 + A2 * X2}{A1 + A2} \right) \quad (30)$$

$$Centroide\ X = \left(\frac{(0.11 * 1) * 0.5 + \left(\frac{0.14 * 1}{2} \right) * 0.667}{0.11 + 0.07} \right) =$$

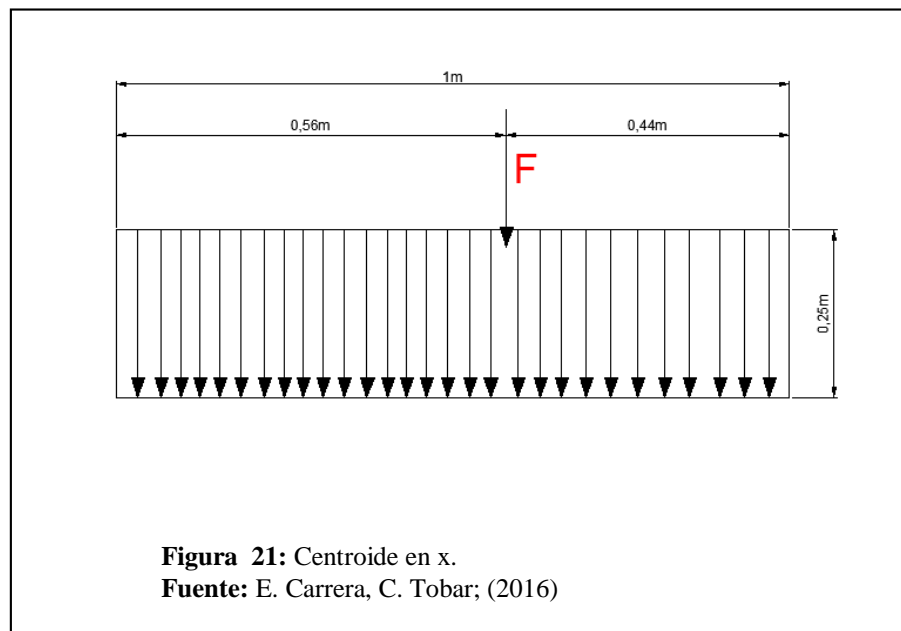
$$Centroide\ X = 0.56m$$

En la figura se observa el centroide de la figura geométrica.



Entonces al tener la ubicación de la fuerza se procede a calcular la deflexión de la plancha con diferentes espesores y así seleccionar la que menos deflexión tenga.

Debido a que la distancia del centroide es de 0.56m y está cerca del centro de la figura se asumirá un rectángulo para mayor seguridad. Entonces:



Se debe calcular la magnitud de la fuerza, conociendo el volumen que entraría en el cubo de la figura 21, entonces:

d = densidad de azufre.

m = masa de azufre.

V = volumen de azufre.

L_1, L_2, L_3 ; lados del cubo de la figura 21, conociendo que el ancho de la figura es de 0.44m.

$$V_1 = L_1 \times L_2 \times L_3 = (1m * 0.25m * 0.44m) = 0.11m^3$$

$$d_{azufre} = 1960 \frac{kg}{m^3}$$

$$d = \frac{m}{V} \quad m = d * VT \quad (31)$$

$$m = 1960 \frac{kg}{m^3} * 0,11 m^3$$

$$m = 215,6 kg$$

$$F = 215,6 kgf * 9,8m/s^2 = 2112.88 N$$

Calcular la inercia para una placa de 1/8 de pulgada en la plancha principal de la tolva (inferior) debido a que esta recibe todo el peso.

$$I = \frac{1}{12} * (b)(h)^3 \quad (32)$$

$$I = \frac{1}{12} * (1m)(0.003m)^3$$

$$I = 2.25 \times 10^{-9} m^4$$

Teniendo los datos anteriores se procede a calcular la deflexión para una plancha de 1/8 de pulgada.

$$\Delta = \left(\frac{w * x}{24 * E * I} \right) * (l^3 - 2 * l * x^2 + x^3) \quad (33)$$

$$\Delta = \left(\frac{2112,88 * 0,56m}{24 * (210000 * 10^6 \frac{N}{m^2}) * (2,25 * 10^{-9} m^4)} \right) * (1^3 - 2 * 1 * 0.56^2 + 0.56^3)$$

$$\Delta = 0.054m = 54mm$$

Con una placa de 1/8 de pulgada se observa que la plancha tendra una gran deflexión en el punto establecido, entonces, se debe proceder a trabajar con otro espesor de plancha.

Calcular la deflexión con una plancha de espesor 1/4 pulgada, entonces:

Calcular la inercia para una placa de 1/4 de pulgada en la plancha principal de la tolva (inferior) debido a que esta recibe todo el peso.

$$I = \frac{1}{12} * (b)(h)^3 \quad (34)$$

$$I = \frac{1}{12} * (1m)(0.0064m)^3$$

$$I = 2.18 \times 10^{-8} m^4$$

Teniendo los datos anteriores se procede a calcular la deflexión para una plancha de 1/4 de pulgada.

$$\Delta = \left(\frac{w \cdot x}{24 \cdot E \cdot I} \right) * (l^3 - 2 * l * x^2 + x^3) \quad (35)$$

$$\Delta = \left(\frac{2112,88 * 0,56m}{24 * (210000 * 10^6 \frac{N}{m^2}) * (2,18 * 10^{-8} m^4)} \right) * (1^3 - 2 * 1 * 0.56^2 + 0.56^3)$$

$$\Delta = 5.92 mm$$

Se procede a trabajar con una plancha de 1/4 de pulgada para la tolva, debido a que la deflexión es minúscula.

3.1.7. Resortes

Los resortes son componentes mecánicos que se caracterizan por absorber deformaciones considerables bajo la acción de una fuerza exterior, volviendo a recuperar su forma inicial cuando cesa la acción de la misma, es decir, presentan una gran elasticidad. (UTU, 2013, pág. 1)

Se colocaron 2 resortes en las dos patas de la tolva como se puede observar en el Anexo 1.

CAPÍTULO 4

PROCEDIMIENTO Y TIEMPOS DE TRABAJO

4.1. Procedimiento de trabajo para toma de tiempos y movimientos

- a. Colocarse el equipo de proteccion indivual adecuado para el trabajo: casco, guantes, botas, para evitar lesiones en el trabajador.
- b. Encender el molino para realizar un calentamiento en vacío. Esto se realiza para no tener complicaciones al momento de trabajar con el azufre, es decir que ningún martillo pueda sufrir daños o ruptura.
- c. Se procede a ensaquillar el azufre mediante una pala en un saco de 50kg.
- d. Se procede a colocar el azufre en la tolva para su molienda.
- e. Se espera a que el molino triture la cantidad suministrada de material.
- f. El azufre molido cae en el piso. Este azufre en polvo es colocado en los respectivos sacos de 50kg. El proceso es retirar con un asadón el material, y colocar mediante una pala en el saco.
- g. Se procede a coger el saco con el material listo y colocarlo en una pesa digital, la cual nos debe marcar 50kg.
- h. Luego de pesar el saco y colocar o quitar material para que nos dé el peso adecuado, se procede a coser el saco con una cosedora automática.
- i. Luego de tener cosido el saco se procede a ordenar de manera que se forman filas de 8 sacos.

4.2. Tiempos de cada procedimiento

De acuerdo a lo estudiado para tomar los datos necesarios para la investigación se procede a hacer un formato el cual permite anotar los tiempos de cada uno de los movimientos que realiza el operador del molino. Esto permite conocer dónde se puede obtener un cuello de botella, que corresponda a los procesos más largos.

Para obtener los datos requeridos hay que tomar en cuenta ciertas consideraciones en cuestión al horario de trabajo, recesos que tiene el operador. Estos recesos son de 30 minutos en la mañana para un refrigerio o simplemente descansar del trabajo; luego se reinician las actividades y se toma una hora de almuerzo. Se reinician las actividades y se toma en la tarde otro receso de 30 min.

En la siguiente tabla podemos observar como se distribuye el tiempo del operador.

Tabla. 3: Distribución de tiempos del operador

Tiempo	Observación
6:45	Ingreso a zona de trabajo
6:50	Vestimenta para iniciar labores
7:00	Calentamiento de motor del molino
7:15	Producción
8:00	Producción
9:00	Producción
10:00	Receso refrigerio
10:15	Producción
11:00	Producción
12:00	Almuerzo
13:00	Producción
14:00	Producción
15:00	Receso refrigerio
15:15	Producción
16:45	Finalizar día limpieza de zona de trabajo
17:00	Cierre de puertas y salida del operador

Nota: Mediante el uso de estos datos se dimensionará la tolva y dosificador.

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016)

Es decir que el operador trabaja en producción ocho horas hábiles por día, descontando los refrigerios que son cada uno de quince minutos y una hora de almuerzo.

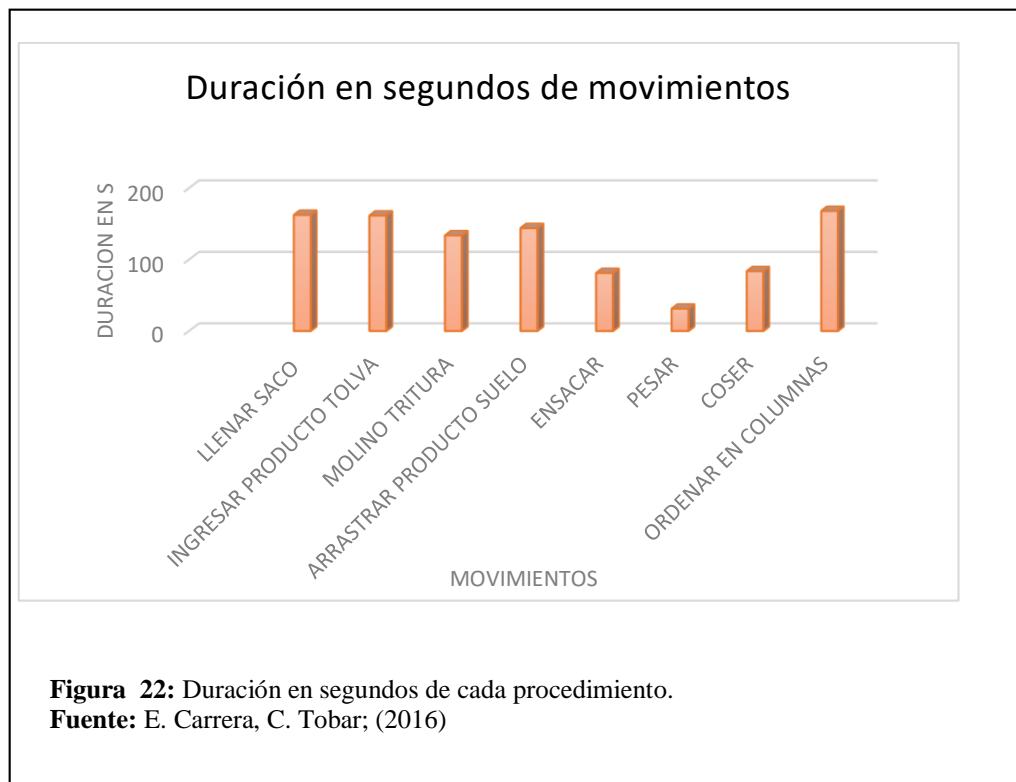
Así tenemos que el promedio de trabajo en producción tiene una duración dada por:

Tabla. 4: Distribución de Tiempos de ciclo de trabajo

Movimientos	Duración en segundos
Llenar saco con producto en grano	162.5
Ingresar producto en la tolva	161.5
Molino tritura	133.8
Arrastrar producto del suelo	144
Ensacar	81.3
Pesar	31.3
Coser	83.8
Ordenar en columnas	168
TOTAL POR CADA SACO DE 50 KG	966.1

Nota: Mediante el uso de estos datos se dimensionará la tolva y dosificador.

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016).



Esto nos quiere decir que se demora 966.1 segundos en cada saco de 50kg, como el operador se encuentra trabajando 8 horas al día, esto quiere decir que trabaja 28.800 segundos por día, de tal manera que al realizar la división se obtiene que:

$$\text{número de sacos por día} = \frac{28.800}{966.1}$$

Número de sacos por día = 29.81 sacos ~ 30 sacos de 50 kg por día.

CAPÍTULO 5

COSTOS DEL PROYECTO

5.1. Estudios de costos

Los contadores definen al costo como un recurso sacrificado o perdido para alcanzar un objetivo específico. Un costo se mide por lo general como la cantidad monetaria que debe pagarse para adquirir bienes y servicios. (Charles, T. Hornegren; Srikant, M. Datar; Foster, George;, 2007, pág. 27).

En el presente capítulo se realiza el estudio de costos, el cual es necesario para conocer la inversión que se realiza en el proyecto. Para lo cual vamos a definir los costos principales que son los directos e indirectos.

Los costos directos de un objeto están relacionados con el objeto del costo en particular y pueden rastrearse de manera económicamente factible; es decir, efectiva en cuanto a costos se refiere y los costos indirectos de un objeto del costo se relacionan con un objeto del costo en particular, pero no pueden rastrearse a ese objeto de manera económicamente factible. (Charles, T. Hornegren; Srikant, M. Datar; Foster, George;, 2007, pág. 28).

- **Costos Directos:**

- a. Costos de los materiales que comprenden la tolva, mecanismo, coche, rampa, mesa de soporte.
- b. Costo de los materiales normalizados.
- c. Costo de montaje e instalación.

- **Costos indirectos:**
 - a. Costos de materiales secundarios
 - b. Costos varios.

5.2. Estudio de costos directos

5.2.1. Costos de materiales que comprenden la tolva, mecanismo, coche, rampa, mesa de soporte

Aquí se enumeran los costos de los materiales que se utilizaron para la construcción de la tolva dosificadora, el mecanismo de cierre rápido, el coche para transportar el producto, la rampa para que el operador descargue el producto en la tolva y la mesa de apoyo en donde va todo el sistema.

Tabla. 5: Costos de materiales para optimización de molino

Material	Especificación	Cantidad	Costo total
Tubo acero A36	60 mm*40mm*3 mm	6	\$ 150.00
Plancha corrugada	73mm*36mm	1	\$73.36
Tablón	250mm*2400mm*25mm	2	\$ 40.00
Plancha de tol	1200mm*1200mm*3mm	1	\$ 40.00
Eje acero A36	3/4" * 1m	1	\$ 8.50
Tubo cuadrado A36	25.4mm * 2 m	1	\$ 5.00
Tubo cuadrado A36	120mm*120mm*6m	4	\$ 16.00
Tol corrugado acero	600mm*400m*3mm	2	\$ 30.00

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016).

5.2.2. Costo de materiales normalizados

Para este estudio tomamos en cuenta a todos los materiales utilizados para la optimización del molino que se encuentren regidos bajo una norma, es decir estandarizados y que no necesitan de ningún tipo de modificación para ser utilizados.

Tabla. 6: Costos de materiales normalizados

Material	Especificación	Cantidad	Costo total
Pernos de anclaje	1/4"*3"	20	\$7.00
Pernos de anclaje	3/8"*1"	22	\$8.00
Pernos de anclaje	5/8"*3"	4	\$6.00
Angulo	2" * 3/16"	1	\$18.80

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016)

5.2.3. Costos de maquinaria para el proceso de fabricación

Este es el costo de cada una de las maquinas que se utilizaron para la construcción de cada uno de los elementos que conforman la optimización del molino como son: tolva dosificadora, coche de transporte, mecanismo de cierre rápido, mesa de apoyo, grada para descargue de producto, rampa.

Tabla. 7: Costos de equipos

Fase	Tiempo (hora)	Costo -Hora	Costo
Cortadora	3	\$30.00	\$ 90.00
Soldadura Eléctrica	24	\$6.00	\$144.00
Taladro	2	\$3.50	\$ 7.00
Pulidora	2	\$10.00	\$20.00

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016)

5.2.4. Costo de montaje e instalación

Estos costos se encuentran claramente definido por la mano de obra que actúa en la instalación y montaje de los elementos para la optimización del molino.

Tabla. 8: Costo de montaje e instalación

Recurso	Número recurso	Tiempo	Costo - hora	Costo total
Técnico Mecánico	1	24	\$ 15.00	\$ 360.00
Ayudante	2	24	\$ 5.50	\$ 132.00
Diseño	2	60	\$ 30	\$ 900

Nota: Costos de recursos utilizados para optimización del molino.

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016)

5.2.5. Costos directos totales

Tabla. 9: Costos directos totales

Descripción	Cantidad	Costo
Costo de materiales	1	\$ 362.86
Costo de materiales normalizados	1	\$ 39.80
costo de maquinaria	1	\$ 261.00
Costo montaje e instalación	1	\$ 492.00
	Total	\$ 1,155.66

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016).

5.3. Estudio de costos indirectos

5.3.1. Costo de materiales secundarios que se utilizan para la construcción

Estos costos de los materiales son de elementos complementarios que se utilizan en la construcción de la optimización del molino.

Tabla. 10: Costos indirectos

Material	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Electrodo 7018	4 kg	\$ 3.60	\$ 14.40
Disco de corte	4	\$ 2.50	\$ 10.00
Broca de acero	2	\$ 0.90	\$ 1.80
Pintura	1/4 galón	\$ 10.00	\$ 10.00

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016).

5.3.2. Costos Varios

En estos costos se toman en cuenta todos los elementos que se utilizaron mientras se realizaba el proyecto, aquí se engloban los costos administrativos que se emplearon.

Tabla. 11: Costos Varios

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Internet	50 h	\$ 0.20	\$10.00
Impresiones	150	\$ 0.10	\$15.00
Transporte de materiales	2	\$ 5.00	\$ 10.00
Transporte de proyecto completo	1	\$ 20.00	\$ 20.00

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016).

5.1.4. Costos indirectos totales

Tabla. 12: Costos indirectos totales

Costo	Cantidad	Costo total
Costos de materiales complementarios	1	\$ 36.20
Costos varios	1	\$ 55.00
	total	\$ 91.20

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016).

5.4. Costos totales

Para determinar los costos totales se realiza la suma del costo total directo y el costo total indirecto.

Tabla. 13: Costos totales

Costo	Cantidad	Costo total
Costos directos	1	\$1,155.66
Costos indirectos	1	\$ 91.20
	Total	\$ 1,246.86

Nota. Se suman los costos directos e indirectos totales.

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016).

CAPÍTULO 6

TOMA DE TIEMPOS FINALES (RESULTADOS)

6. Procedimiento de trabajo para toma de tiempos y movimientos

- a. Equiparse con las protecciones adecuadas, casco, guantes, traje anticorrosivo, botas.
- b. Encender el molino para realizar un calentamiento en vacío, realizar este procedimiento para no tener complicaciones el momento de trabajar con el azufre, es decir que ningún martillo pueda sufrir daños o ruptura.
- c. Se procede a ensaquillar el azufre mediante una pala en un saco de 50kg.
- d. Se procede a colocar el azufre en la tolva para su molienda.
- e. Esperar a que el molino triture la cantidad suministrada de material.
- f. El azufre molido cae sobre el suelo, este azufre en polvo es colocado en los respectivos sacos de 50kg, el proceso es retirar con un asadon el material, y colocar mediante una pala en el saco.
- g. Se procede a agarrar el saco con el material listo y se lo coloca sobre una pesa digital, la cual nos debe marcar 50kg.
- h. Colocar o quitar material para que nos de él peso adecuado, se procede a coser el saco con una cosedora automática.
- i. Luego de tener cocido el saco se procede a ordenar de manera que se forman filas de 8 sacos.

De acuerdo a lo estudiado para tomar los datos que se necesitan para la investigación se procede hacer un formato en el cual nos permite anotar los tiempos de cada uno de los movimientos que realiza en este caso el operador del molino, con esto nos permite conocer dónde se puede obtener el tiempo mayor, el cual mediante el análisis de la variable tiempo en este caso se podrá romper ese cuello. Para obtener los datos requeridos hay que tomar en cuenta ciertas consideraciones en cuestión al horario de trabajo, recesos que tiene el operador. Estos recesos son de 30 minutos en la mañana para un refrigerio o simplemente descansar del trabajo, luego se reinician las actividades y se toma una hora de almuerzo, se reinician las actividades y se toma en la tarde un receso de 30 minutos. En la siguiente tabla podemos observar cómo se distribuye el tiempo del operador.

Tabla. 14. Tiempos de trabajo finales.

Tiempo	Observación
6:45	Ingreso a zona de trabajo
6:50	Vestimenta para iniciar labores
7:00	Calentamiento de motor del molino
7:15	Producción
8:00	Producción
9:00	Producción
10:00	Receso refrigerio
10:15	Producción
11:00	Producción
12:00	Almuerzo
13:00	Producción
14:00	Producción
15:00	Receso refrigerio
15:15	Producción
16:45	Finalizar día limpieza de zona de trabajo
17:00	Cierre de puertas y salida del operador

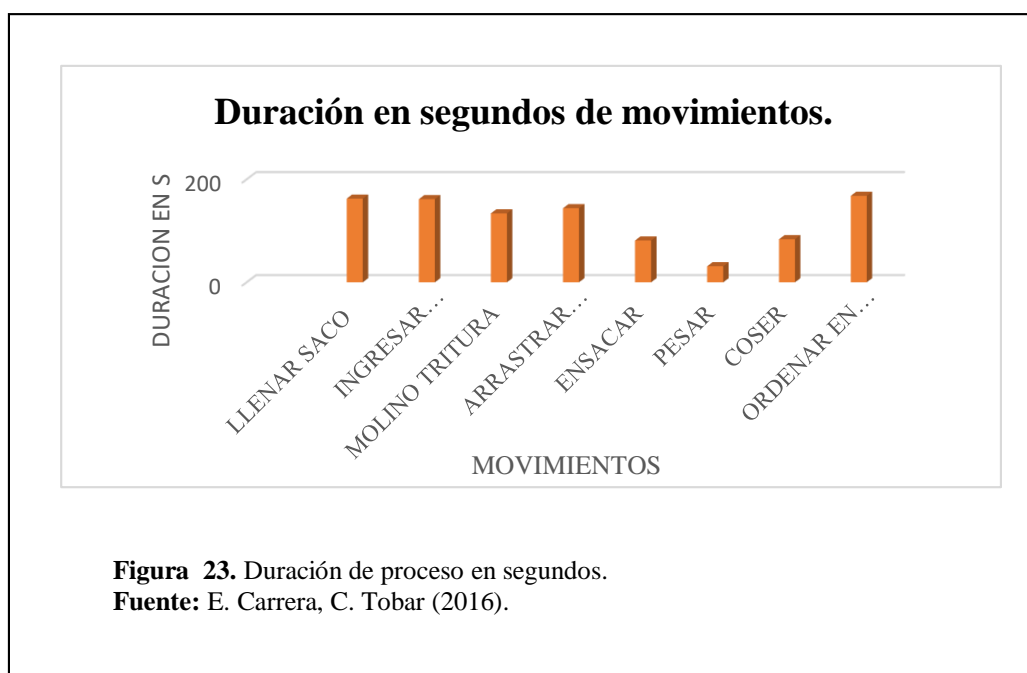
Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016).

Es decir que el operador tiene en produccion o también llamadas horas hábiles 8 horas por día, descontando los refrigerios que son cada uno de 15 min y 1 hora del almuerzo. Así se obtiene que el promedio de la duración se encuentra dada por:

Tabla. 15: Duración de proceso en segundos.

Movimientos	Duración en segundos
Llenar saco con producto en grano	162.5
Ingresar producto en la tolva	161.5
Molino tritura	133.8
Arrastrar producto del suelo	144
Ensacar	81.3
Pesar	31.3
Coser	83.8
Ordenar en columnas	168
Total por cada saco de 50 kg	966.1

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016).



Esto quiere decir que se demora 966.1 segundos en cada saco de 50kg, como el operador se encuentra trabajando 8 horas al día. Esto quiere decir que trabaja 28.800 segundos por día, lo cual si realizamos la division se obtiene que:

$$\text{número de sacos por dia} = \frac{28.800}{966.1}$$

$$\text{número de sacos por dia} = 29.81 \text{ sacos} \sim 30 \text{ sacos de 50 kg por día}$$

Después de realizar el acoplamiento de los elementos debidamente dimensionados como son la tolva dosificadora, el mecanismo de cierre rápido, coche transportador de producto terminado, se toma nuevamente los tiempos y movimientos para ver la variación y efecto que tienen los elementos mecánicos instalados en el proceso de molienda del azufre.

En la siguiente tabla observamos cómo se distribuye el tiempo del operador.

Tabla. 16: Distribución del tiempo diario del operador.

Tiempo	Observación
6:45	Ingreso a zona de trabajo
6:50	Vestimenta para iniciar labores
7:00	Calentamiento de motor del molino
7:15	Producción
8:00	Producción
9:00	Producción
10:00	Receso refrigerio
10:15	Producción
11:00	Producción
12:00	Almuerzo
13:00	Producción
14:00	Producción
15:00	Receso refrigerio
15:15	Producción
16:45	Finalizar día limpieza de zona de trabajo
17:00	Cierre de puertas y salida del operador

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016).

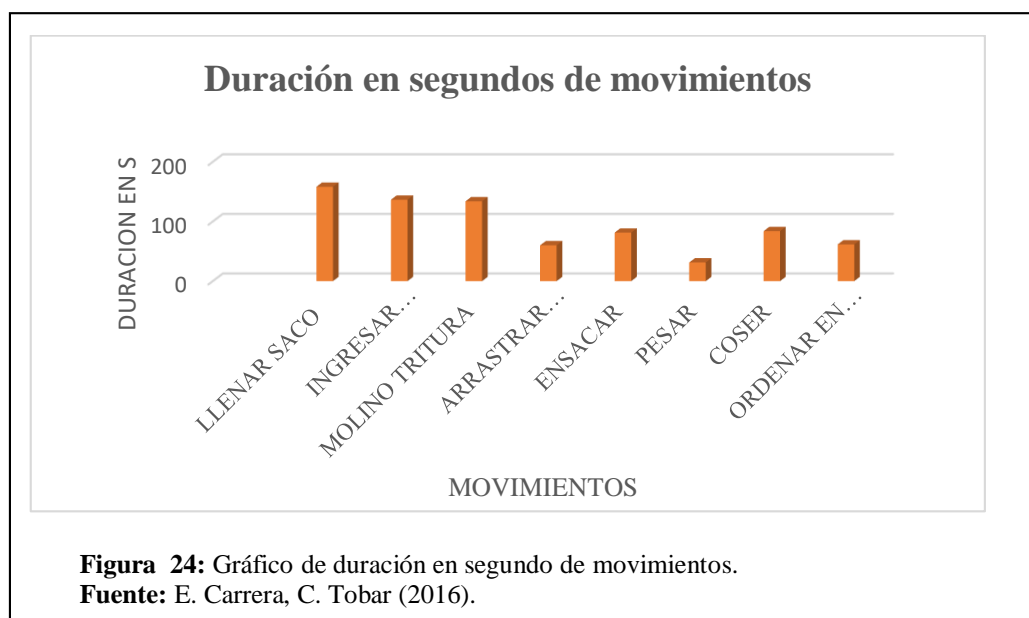
Luego de tener claro, nuevamente, cual es el tiempo que el operador pasa en planta, se procede a tomar los tiempos y movimientos que se realizan para la producción.

Y de esta manera tenemos el promedio de tiempos que el operador demora en cada una de las actividades asignadas.

Tabla. 17: Promedio de tiempos finales en 200kg de producción.

Movimientos	Duración
Llenar saco	158.2
Ingresar producto tolva	136.4
Molino tritura	133.8
Arrastrar producto suelo	60.0
Ensacar	81.3
Pesar	31.3
Coser	83.8
Ordenar en columnas	61.5
Total por cada saco	746.2

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016).



De acuerdo al promedio de los tiempos que se demora el operador en cada actividad se puede hacer una relación y sacar el número de sacos que procesa en el día. Esto quiere decir que se demora 746.2 segundos en cada saco de 50kg, como el operador se encuentra trabajando 8 horas al día, esto quiere decir que trabaja 28.800 segundos por día, lo cual si realizamos la división se obtiene que:

- Número de sacos por día= $28.800/746.2$

- Número de sacos por día =38.6 sacos ~ 39 sacos de 50 kg por día

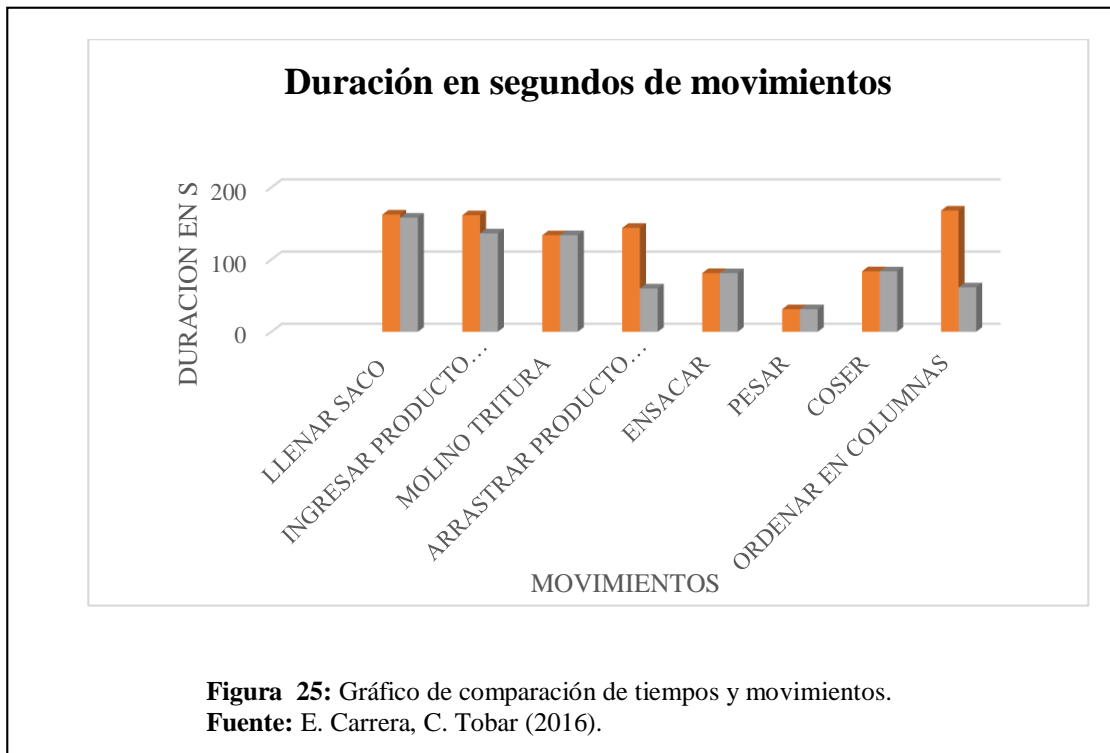
Realizando las tablas comparativas se puede observar que se disminuyeron los tiempos de algunas actividades que se representan en la siguiente Tabla.

Tabla. 18. Comparación de tiempos en 200kg de producción

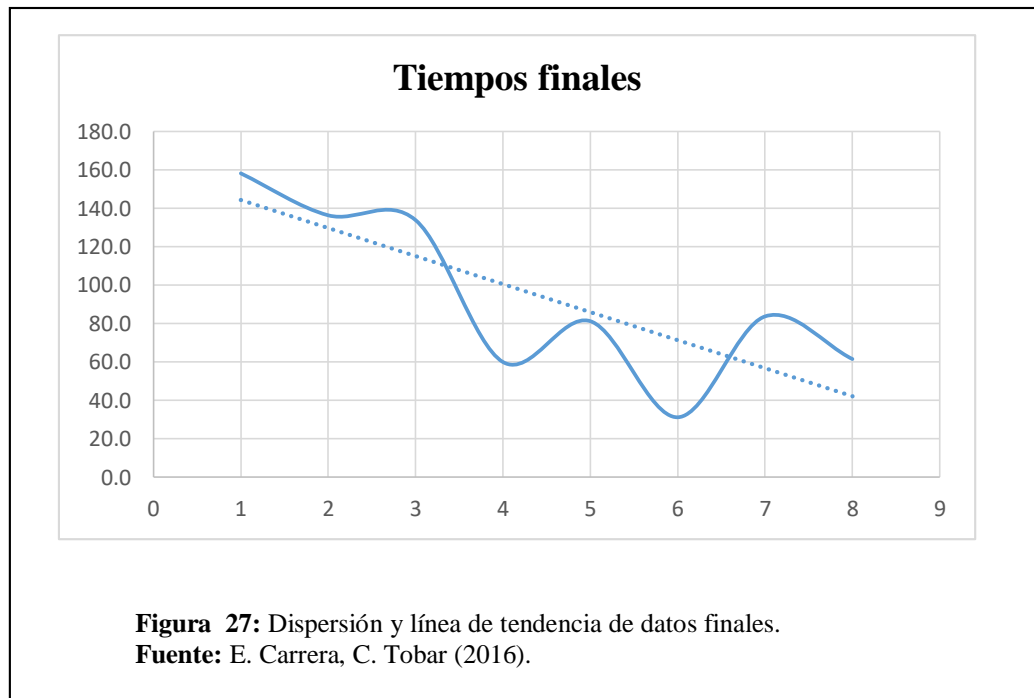
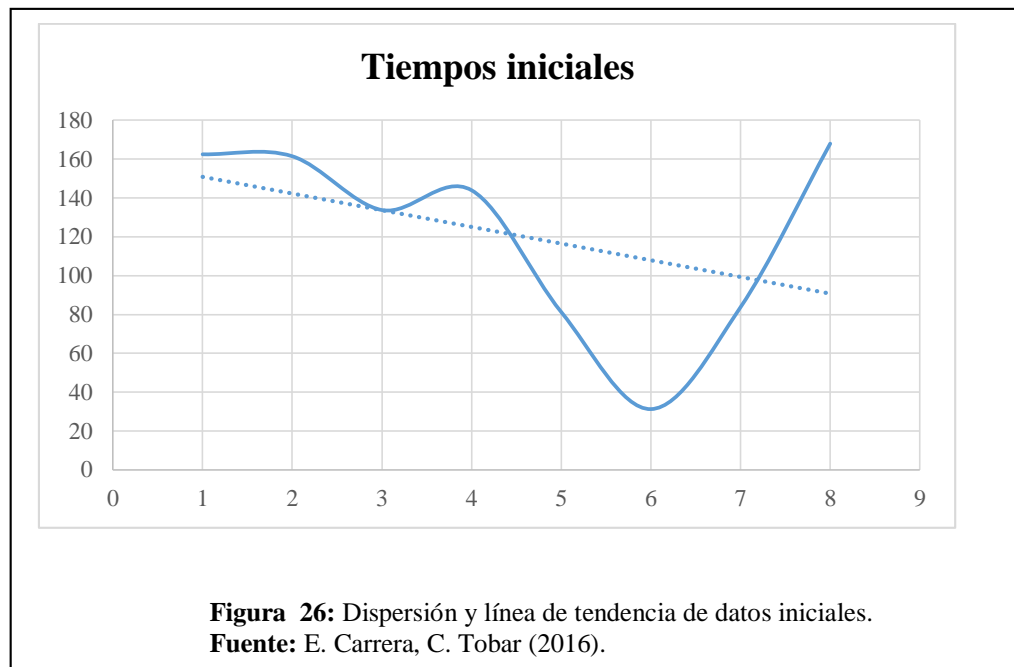
Movimientos	Duración	
	Duración actual	Duración anterior
Ítem		
Llenar saco	162.5	158.2
Ingresar producto tolva	161.5	136.4
Molino tritura	133.8	133.8
Arrastrar producto suelo	144	60.0
Ensacar	81.3	81.3
Pesar	31.3	31.3
Coser	83.8	83.8
Ordenar en columnas	168	61.5
Total por cada saco	966.2	746.2

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2016).

Como se puede observar no en todas las actividades se logró disminuir los tiempos y esto es debido a que los mecanismos y elementos que se dimensionaron no afectan a todo el proceso sino más bien se puede observar el cambio en actividades específicas.



Para esto se presenta a continuación los gráficos de dispersión donde podemos observar la tendencia que tienen los movimientos al inicio de la optimización y al finalizar la misma.



Con esto se demuestra que al implementar los elementos definidos para la optimización se logró el objetivo que es bajar los tiempos y aumentar la producción.

Para medir la optimización en la ergonomía del trabajador se realizó una encuesta, la cual nos permite conocer el nivel de fatiga o dolor que tiene el operador al momento de realizar su trabajo diario.

Tabla. 19. Encuesta inicial del operador

Encuesta de salud del operador		
Conociendo que: 1- su salud se encuentra en un punto crítico y necesita ser hospitalizado. 10- su salud se encuentra en óptimas condiciones y puede trabajar con regularidad.		
Item	Descripción	Calificación
1	Tiene dolores de espalda al cargar los sacos y movilizarlos de un punto a otro.	5
2	Tiene dolores de cuello al colocar los sacos en los hombros.	6
3	Tiene dolores en los muslos	4

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2017).

A continuación se presenta la encuesta luego de la optimización que se realizó al operador.

Tabla. 20. Encuesta final del operador.

Encuesta de salud del operador		
Conociendo que: 1- su salud se encuentra en un punto crítico y necesita ser hospitalizado. 10- su salud se encuentra en óptimas condiciones y puede trabajar con regularidad.		
Item	Descripción	Calificación
1	Tiene dolores de espalda al cargar los sacos y movilizarlos de un punto a otro.	7
2	Tiene dolores de cuello al colocar los sacos en los hombros.	8
3	Tiene dolores en los muslos	7

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2017).

Se presenta a continuación la tabla comparativa de resultados de la encuesta.

Tabla. 21. Comparación de resultados de encuestas inicial y final del operador.

Encuesta de salud del operador			
Conociendo que: 1- su salud se encuentra en un punto crítico y necesita ser hospitalizado. 10- su salud se encuentra en óptimas condiciones y puede trabajar con regularidad.			
Item	Descripción	Calificación inicial	Calificación final
1	Tiene dolores de espalda al cargar los sacos y movilizarlos de un punto a otro.	5	7
2	Tiene dolores de cuello al colocar los sacos en los hombros.	6	8
3	Tiene dolores en los muslos	4	7
		15	22

Fuente: E. Carrera, C. Tobar (2017).

Tenemos, entonces, los datos para realizar la comparación y medición de la optimización de la ergonomía del operador.

Para ello hemos planteado 3 preguntas las cuales se evalúan en una escala del 1 al 10: donde, 1, su salud se encuentra en un punto crítico y necesita ser hospitalizado, y, 10, su salud se encuentra en óptimas condiciones y puede trabajar con regularidad.

De esta manera se obtiene el porcentaje que se mejoró teniendo en cuenta que 3 es la peor puntuación y 30 es la mejor puntuación. En la evaluación inicial tenemos un puntaje de 15 y en la evaluación final de 22. Esto indica que se mejoró la ergonomía del operador de un 50% a un 73.33% incrementando en 23,33% con la optimización realizada.

CAPITULO 7

RECUBRIMIENTOS

Para el diseño de la tolva y accesorios se tomó en cuenta un recubrimiento adecuado para evitar la corrosión causada por el azufre y el ambiente seco.

La corrosión implica el deterioro de una sustancia, especialmente el metal, debido a una reacción con el ambiente. Los recubrimientos industriales y marinos se conocen por el tipo de resina genérica. La resina es sustancia orgánica de consistencia pastosa que se solidifica en contacto con el aire, por ejemplo: epóxicos y poliuretanos.

(Industrial Maintenance Painting Program, 1960, pág. 3)

Para la selección de recubrimientos se debe basar en varios factores:

- El ambiente donde se presentará el recubrimiento.
- Temperatura y configuración del artículo a pintar.
- Disponibilidad de los recubrimientos.

(Industrial Maintenance Painting Program, 1960, pág. 3).

7.1. Epóxico

Los recubrimientos epóxicos son protectores industriales y marinos más utilizados. Son recubrimientos de dos componentes envasados en recipientes separados. Un recipiente contiene la resina epóxica (base) y el otro un agente de curado (convertidor de líquido a sólido). (International, 1964, pág. 16)

Los epóxicos tiene excelente adhesión, resistencia química, resistencia al agua y adhesión sobre superficies húmedas. Son susceptibles al tizamiento (calentamiento) y normalmente son repintados con un recubrimiento resistente a los rayos ultravioletas para servicios atmosféricos. (International, 1964, pág. 16)

7.2. Poliuretano

Son materiales de dos componentes usados para recubrimientos de exteriores debido a que son altamente resistentes al ataque de rayos ultravioletas. Los poliuretanos proporcionan un excelente brillo y color. Se los utiliza como acabado para la exposición al exterior en muchas aplicaciones industriales. (International, 1964, pág. 17).

7.3. Estándares de limpieza de la superficie

Los trabajos de preparación de superficies están normalizados por varias asociaciones internacionales siendo una de la más difundidas la norma Americana SSPC (Steel Structures Painting Council, Pittsburgh USA) definiendo en cada categoría los distintos procedimientos requeridos para realizar una correcta limpieza de superficie de superficie previo a la aplicación de un revestimiento o pintura. (S.A., 2015, pág. 3).

Las diferentes categorías de preparación de superficie definidas por la SSPC a la fecha (Julio 2015) son las siguientes:

- SSPC-SP1. Limpieza con solventes.
- SSPC-SP2. Limpieza con herramientas manuales.

- SSPC-SP3, limpieza con herramientas manuales mecánicas.
- SSPC-SP5/ Nace N°1, limpieza con chorro abrasivo (granallado metal blanco)
- SSPC-SP6/ Nace N°3, limpieza con chorro de abrasivo (granallado comercial).
- SSPC-SP7/ Nace N°4, limpieza con chorro de abrasivo (granallado ligero).
- SSPC-SP10/ Nace N°2, limpieza con chorro de abrasivo (granallado semi-blanco)
- SSPC-SP11, Limpieza manual con herramientas metálicas.
- SSPC-SP12/ Nace N°5, limpieza con agua a presión.
- SSPC-SP13/ Nace N°6, limpieza de concreto.
- SSPC-SP14/ Nace N°8, granallado industrial.
- SSPC-SP16, limpieza de metales no ferrosos.

(S.A., 2015, pág. 4).

7.4. Recubrimientos en tolva dosificadora

Para el recubrimiento de la tolva dosificadora se realizó una limpieza con herramientas metálicas SSPC-SP11 que sugiere International para la aplicación de Interzinc 52 como un epóxico. Se deben seguir las instrucciones que sugiere el proveedor en la ficha técnica. Para el acabado se debe usar un poliuretano un Interthane 990, da propiedades de resistencias a los rayos ultravioletas y evita la decoloración de la pintura. Observar el Anexo 15 donde se define el *ral* de la pintura y adjuntadas, al final del documento, las fichas técnicas de los recubrimientos.

CONCLUSIONES

- No se logró alcanzar las 2 toneladas/día se logró llegar a 1.9 toneladas/ día ya que no se pudo implementar el ensaquillado rápido. Esto no se pudo realizar debido a que se necesitaba una altura de la mesa de apoyo del molino de 2 metros para instalar el codo, la tubería y el cierre rápido con ventosas, se conversó con el propietario de la Empresa Ecuazufre para que nos permita elevar la mesa de apoyo el cual nos supo informar que no autorizaba, ya que era una inversión alta.
- El coche para transporte de producto terminado que se instaló, nos permitió bajar tiempos en el movimiento "ordenar en columnas" de 168 segundos a 61.5 segundos, así como también eliminar el desgaste físico del operador al cargar el producto terminado.
- El *mecanismo de cierre rápido* que se acoplo en el proceso, es el principal movimiento de control que se realiza en la producción y se logró bajar el tiempo del movimiento *arrastrar producto suelo* de 144 segundos a 60 segundos; así como también permitir que el operador tenga menor dolor en su columna al estar demasiado tiempo inclinado arrastrando el producto con el azadón.
- La rampa para que el operador suba con el producto en grano que se acoplo, nos ayudó a disminuir el tiempo del movimiento *ingresar el producto a la tolva* de 161.5 segundos a 136.4 segundos, debido a que se operaba como rampa con una tabla y por el peso del producto el operador tenía tendencia a caerse.
- Se presentó los datos comparativos antes y después de la optimización llegando al resultado de aumentar la producción de 1.5 toneladas a 1.9 toneladas/día.

- No se ha podido poner en marcha todos los elementos de la optimización por elementos externos como falta de cooperación del dueño de la Empresa Ecuazufre al no dejar modificar elementos del molino ya existentes.
- Mediante las encuestas realizadas al operador se determinó que su ergonomía mejoró notablemente en un 23.33%, esto comprueba que las mejoras realizadas al sistema de producción son eficientes.

RECOMENDACIONES

- Levantar la mesa de apoyo del molino de martillos para que se pueda instalar el codo la tubería y se pueda hacer uso del ensaquillado rápido.
- Revisar el sistema eléctrico del molino debido a que es posible que la instalación eléctrica no sea la adecuada para el proceso.
- Reubicar el molino ya que no tiene un flujo correcto del proceso.
- Realizar una mesa a la misma altura del molino para descarga del producto al granel para que el operador no tenga que levantar el producto del suelo.

REFERENCIAS

Acesco. (2000). *Acesco*. Obtenido de Acesco:

<http://www.acesco.com/productos.php?prodId=2>

Baxcajay, O. (23 de 12 de 2009). *Monografías.com*. Obtenido de Monografías.com:

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/sistema-produccion/sistema-produccion.shtml>

Budynas, R. G. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico D.F.: McGrawHill.

Budynas, Richard G.; Nisbett, Keith;. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México, D.F.: McGrawHill.

Cárdenas Mosquera, M. A. (Julio de 2011). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO PARA EXTRAER ACEITE*. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, Pichincha, Quito.

Charles, T. Hornegren; Srikant, M. Datar; Foster, George;. (2007). *Contabilidad de Costos*. Mexico: Pearson Education.

Cuatrecasas Arbós, L. (2011). *Organización de la producción y dirección de operaciones*. España: Díaz Santos.

Garcés, I. (2009). *Azufre*. Universidad de Antofagata.

García, D. N. (2005). *Organización de la producción en Ingenierías*. Mexico D.F.: Eduino.

Industrial Maintenance Painting Program. (1960). *Report of Nace Techninal Unit Committee T-6D*. USA: NACE International 2010.

International, N. (1964). *Surface: Preparation Abrasives for industrial Maintenance Painting*. Usa: Nace Technical Unit Committee .

K., L. (1998). *La producción industrial*. México D.F.: Alfaomega.

Katz, M. (2011). *Materiales y Materias Primas*. Obtenido de <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/azufre.pdf>

Martinez, V. (Jul 14, 2003). Eleva ergonomía la productividad. *Reforma*, 13.

Mastretta, V. (2004). *Administración de los Sistemas de Producción*. Mexico D.F.: Limusa, Noriega Editores.

Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México D.F.: Pearson Education.

S.A., C. M. (Agosto de 2015). *Preparación de superficies- Norma SSPC*. Obtenido de http://www.cymmateriales.com.ar/intranet/frm_productosarchivos/Preparacion-de-superficies-norma-SSPC-granallado-cymmateriales-shotblasting.pdf

Salvador Cardona Foix, Daniel Clos Costa. (2001). *Teoría de Máquinas* . Barcelona: CPDA.

Shigley, Joseph Edward; Uicker, John Joseph;. (1988). *Teoría de Máquinas y mecanismos*. Mexico D.F.: McGRAW-HILL.

Solá, P. M. (1992). *Soldadura Industrial: Calses y Aplicaicones*. Barcelona: MARCOMBO.

Thornton, William A.; Holland, V. Mark;. (206). *Manual of Steel construction*. USA: ISBN 1-56424-055.X.

UTU, U. d. (15 de Noviembre de 2013). *Resortes*. Obtenido de <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/MATERIAL%20BIBLIOGRAFICO%20TECNICO%20PARA%20APOYO%20DOCENTE/Material%20Didactico/resortes.pdf>

Vallejo, Patricio; Zambrano, Jorge;. (2010). *Física Vectorial*. Quito, Ecuador: I.S.B.N.

Velásquez Mastretta. (2003). *Administración de los Sistemas de Producción*. México D.F.: LIMUSA, S.A.